



REPUBLIQUE DU NIGER
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR,
DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION
UNIVERSITE DAN DICKO DANKOULODO DE MARADI



Faculté des Sciences et Techniques
Département de Physique

MÉMOIRE

Spécialité : Système Énergétique Durable pour Société en Développement
(2SED)

Thème : Etude de l'influence de la température sur la tension délivrée par
les modules photovoltaïques : cas de Maradi.

Présenté par : **OUSMANE ABDOURAMANE Boubacar**

Soutenu le 15/10/2020 devant le jury composé de :

Prof. BOUKAR Makinta, Université Abdou Moumouni de Niamey, Président

Prof. LAOUALI Dungall, Université Abdou Moumouni de Niamey, Superviseur

Dr. ELHADJI AMADOU Hamissou, Maître-Assistant, Université Dan Dicko
Dankoulodo de Maradi, Encadreur

Année académique : 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la volonté, le courage, la santé et la patience de bien poursuivre le parcours scolaire de ce Master et ce présent travail malgré toutes les difficultés.

Toutes mes remerciements vont à l'ensemble des enseignants chercheurs de l'université UDDM et en particulier ceux de département de mathématiques et physique suite à leur intervention dans la réussite de ce Master.

Mes sincères remerciements vont aussi au professeur Amadou SEIDOU H. MAÏGA à l'université Gaston berger au Sénégal et à Docteur BAKO Zeinabou à l'université UDDM les coordinateurs de ce Master (2SED).

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à mon encadreur Docteur ELHADJI AMADOU Hamissou, PhD à l'université UDDM de m'avoir accepté et encadré durant mon projet de fin d'étude, sa patience, son endurance et les nombreux conseils qu'il m'avait prodigué.

Je remercie le Professeur LAOUALI Dungall, UAM pour avoir accepté de superviser ce travail ainsi qu'au Professeur BOUKAR Makinta, UAM pour présider le Jury de ce mémoire de Master.

Mes remerciements vont aussi à Mr Hassane et Mr Balarabé les enseignants technologues de leur intervention dans la poursuite de ce Master.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de physique UDDM, sous la direction de monsieur ElHadji Mahabouba. Je le remercie sincèrement de nous avoir accueilli au laboratoire et de nous avoir encouragé et soutenu tout le long de notre travail.

En fin je remercie l'ensemble des personnalités ayant intervenu de loin ou de près dans la réalisation et la réussite de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

À mes parents.

À toute ma famille sans exception.

À mon ami Ayoub Hamidou Djibo

À mon tuteur Chaïbou et sa femme Rakia.

À tous ceux qui ont contribué de loin ou de près durant ma carrière.

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de température sur les performances des modules photovoltaïques dans la ville de Maradi afin de prévoir le comportement de deux technologies de panneaux solaires photovoltaïques les plus utilisées pour les installations réseaux ou autonomes, notamment PV aux cellules monocristallines et polycristallines. Notre étude est basée sur la puissance et tension produites par les panneaux PV en fonction de la température de la zone d'étude. La ville de Maradi présente un gradient important de température près de 45°C enregistré en avril 2019. Pour cela nous avons utilisé la Méthode extractive, et les résultats de l'analyse ont montré que la technologie de panneau solaire photovoltaïque aux cellules polycristallines est plus fiable en production et aussi performante sous l'inclinaison 15° à l'état fixe direction sud-est et 30° conditionné à un vérin solaire à Maradi. Enfin nous avons proposé aussi un système de refroidissement naturel par un revêtement en fibre de jute sur la face arrière du panneau combiné avec un circuit d'eau.

Mots clés : Vérin solaire, Fibre de jute, gradient de température, revêtement en fibre de jute, l'énergie solaire photovoltaïque.

Abstract :

In this work, we studied the influence of temperature on the performances of the photovoltaic modules in the city of Maradi in order to foresee the behavior of two technologies of photovoltaic solar panels the more used for the facilities networks or autonomous, notably PV to the cells monocristallines and polycristallines. Our survey is based on the power and tension produced by the PV panels according to the temperature of the survey zone. The city of Maradi presents a gradient important of temperature close to 45°C recorded in April 2019. For it we used the Method extractive, and the results of the analysis showed that the technology of photovoltaic solar panel to the cells polycristallines is more reliable in production and as effective under the slant 15° to the state fixes South-east direction and 30° conditioned to a solar jack in Maradi. Finally we had also proposed a natural cooling system by a coating in fiber of jute on the rear face of the panel combined with a circuit of water.

Key words: Solar jack, Fiber of jute, gradient of temperature, coating in fiber of jute, the photovoltaic solar energy.

Table des Matières

Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XVI
Sigles et Abréviations.....	XVIII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : L'énergie solaire

Introduction	3
I. Gisement Solaire.....	3
1) Rayonnement solaire au sol.....	3
2) Différents types de rayonnements	4
a) Rayonnement direct	4
b) Rayonnement diffus.....	4
c) L'albédo ou rayonnement réfléchi.....	5
d) Rayonnement global	5
3) Le spectre solaire.....	5
I. L'utilisation de la lumière solaire.....	8
II. Energie solaire reçue par la terre /m ²	8
1) Constante solaire	8
2) Le flux radiatif solaire moyen	9
3) Insolation solaire	9
4) Energie reçue en fonction du jour de l'année.....	9
Conclusion	10

Chapitre II : Présentation de la région de Maradi et du site d'étude

Introduction	11
--------------------	----

I. La présentation de la région de Maradi.....	11
1) Situation géographique.....	11
2) Relief et environnement	11
3) Le Climat.....	12
II. La présentation de la ville de Maradi et du lieu d'étude	12
1) Etude de variation de la température de la ville Maradi.....	13
Conclusion	16
 Chapitre III : Généralités sur les technologies des cellules photovoltaïques	
Introduction	17
I. La conversion photovoltaïque	17
1) Propriétés électriques	18
a) Photoconductivité	18
2. Propriétés optiques de la lumière	19
a) Absorption	20
b) Transmission.....	20
c) Réflexion	20
3. Principe de fonctionnement d'une cellule PV	21
II. La Technologie utilisée.....	22
1) Cellules au silicium monocristallin	23
2) Cellules au silicium polycristallin (ou multi-cristallin).....	23
3) Cellules au silicium amorphe	23
1) Circuit équivalent d'une cellule solaire photovoltaïque.....	25
2) Mise en équation du modèle de la cellule solaire.....	25
3) Les grandeurs caractéristiques d'une cellule solaire	26
a) Courbe caractéristique électrique	26
b) Tension de circuit ouvert V_{CO}	26

c) Courant de court-circuit I_{CC}	26
d) Facteur de forme	26
e) Rendement de conversion d'énergie.....	27
f) Rendement énergétique des trois principales technologies	27
4) Influence de la température	27
5) Influence de l'éclairement	28
IV. Panneau solaire photovoltaïque	29
1. Association des cellules photovoltaïques	29
2. La composition d'un panneau solaire PV	29
V. Application photovoltaïque	31
1) Installation photovoltaïque autonome	31
2) Installation photovoltaïque raccordée au réseau	31
Conclusion	32

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Introduction	33
I. Matériels utilisés.....	33
1. Multimètre digital.....	33
2. Testo Anémomètre + Temp	34
3. Pyranomètre	34
4. Le rapporteur	34
5. Thermomètre digital modèle GTH 175/PT	35
6. Les panneaux solaires photovoltaïques installés au nouveau site.	35
a) Les panneaux solaires PV sous les différentes positions d'angles.....	35
b) Le panneau fixe sous l'orientation sud-est	35
c) Les caractéristiques des panneaux installés.....	36
II. Les méthodes utilisées	36

1) La méthode adapter pour la collecte de données.....	37
2) La méthode extractive	37
3) La méthode utilisée pour le traitement de données	37
III. Les données collectées	38
1) Les données du module monocristallin de 100W position variable.....	38
2) Les données du module polycristallin de 80W position variable.....	38
3) Les données du module polycristallin de 80W position fixe	39
Conclusion	39

Chapitre V : Résultats et discussions

Introduction	40
I. Organigramme de conversion-pertes des panneaux installés	41
1) Bilan énergétique.....	41
II. Les panneaux Installés.....	41
III. Analyse des courbes température-rayonnement	42
1) Evolution de la température et rayonnement par jour	42
2) Courbes de température (12H et 15H) et rayonnement par mois.....	43
3) La température dominante du mois	44
4) L'influence du vent sur la température du module	44
IV. Exploitation des courbes température-tension du modèle SA-80 polycristallin l'orientation variable	45
1) Température-Tension du modèle SA-80	45
a) Température Tension 15°	45
b) Température Tension 30°	45
c) Température Tension 60°	46
d) Température Tension 90°	47
2) Température –Courant du modèle SA-80	47

a) Température Courant 15°	47
b) Température Courant 30°	48
c) Température Courant 60°	49
d) Température Courant 90°	49
3) Température Puissance du modèle SA-80	50
a) Température Puissance 15°	50
b) Température Puissance 30°	51
c) Température Puissance 60°	51
d) Température Puissance 90°	52
4) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température.....	55
a) La tension dominante.....	55
b) Le courant dominant.....	56
c) La puissance dominante.....	56
V.. Exploitation des courbes température-tension du modèle SA-80 polycristallin position fixe sud-est	57
1) Température-Tension du modèle SA-80 fixe.....	57
a) Température Tension 15°	57
b) Température Tension 30°	58
c) Température Tension 60°	58
d) Température Tension 90°	59
2) Température –Courant du modèle SA-80 Fixe	60
a) Température Courant 15°	60
b) Température Courant 30°	60
c) Température Courant 60°	61
d) Température Courant 90°	61
3) Température Puissance du modèle SA-80 fixe	62
a) Température Puissance 15°	62

b) Température Puissance 30°	62
c) Température Puissance 60°	63
d) Température Puissance 90°	64
4) Evolution de la tension en fonction de tous les paramètres du module SA-80 fixe.....	65
5) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température.....	67
a) La tension dominante.....	67
b) Le courant dominant.....	68
c) La puissance dominante.....	69
VI. Exploitation des courbes température-tension du modèle AP-PM 100 monocristallin l'orientation variable	70
1) Température-Tension du modèle AP-PM 100	70
a) Température Tension 15°	70
b) Température Tension 30°	70
c) Température Tension 60°	71
d) Température Tension 90°	71
2) Température –Courant du modèle AP-PM 100.....	72
a) Température Courant 15°	72
b) Température Courant 30°	73
c) Température Courant 60°	73
d) Température Courant 90°	74
3) Température Puissance du modèle AP-PM 100.....	74
a) Température Puissance 15°	74
b) Température Puissance 30°	75
c) Température Puissance 60°	75
d) Température Puissance 90°	76
4) Evolution de la tension en fonction de tous les paramètres du module AP-PM 100	76
5) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température.....	78

a) La tension dominante.....	78
b) Le courant dominant.....	79
c) La puissance dominante.....	80
VII. Chute de température forcée sous l'action de l'eau fraîche.....	80
VIII. Proposition dans le but de réduire la température du panneau PV	80
1) Le montage du système	81
2) Le résultats d'expérience N°1 & N°2.....	82
IX. Proposition dans le but de réduire la température de la face supérieure du panneau PV .	83
1) Le résultat de l'expérience N°3	83
Conclusion	84
Conclusion générale et perspectives.....	85
Référence bibliographique	86
Annexe	i

Liste des figures

Chapitre I : L'énergie solaire

Figure I. 1 : Les différentes formes de rayonnement solaire	4
Figure I. 2 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre	5
Figure I. 3 : Définition de masse d'air (air mass).....	6
Figure I. 4 : Schéma indiquant le nombre d'air masse AMx en fonction de la position géographique.	7
Figure I. 5 : Transformation de la lumière solaire.....	8
Figure I. 6 : Le flux radiatif arrivant sur une surface	8
Figure I. 7 : Mouvement de la terre autour du soleil.....	9
Figure I. 8 : La variation de la constante solaire au cours de l'année	10

Chapitre II : Présentation de la région de Maradi et du site d'étude

Figure II. 1 : Carte de la région de Maradi.....	11
Figure II. 2 : Carte de la ville de Maradi montrant le site d'étude	12
Figure II. 3 : Vue aérienne du site d'étude et du laboratoire de physique	12
Figure II. 4 : Diagramme de températures minimales moyennes mensuelles 2018.....	13
Figure II. 5 : Diagramme de températures maximales moyennes mensuelles 2018	13
Figure II. 6 : Diagramme de températures moyennes mensuelles	14
Figure II. 7 : Diagramme de températures minimales moyennes mensuelles 2019.....	14
Figure II. 8 : Diagramme de températures maximales moyennes mensuelles 2019	14
Figure II. 9 : Diagramme de températures moyennes mensuelles	15

Chapitre III : Généralités sur les technologies des cellules photovoltaïques

Figure III. 1 : Représentation d'un atome de silicium et ses quatre électrons de valence sur la couche périphérique	18
Figure III. 2 : Spectre solaire AM0 pour le silicium	19
Figure III. 3 : Les trois événements optiques d'un rayon lumineux.....	19
Figure III. 4 : Taux de réflexion.....	20
Figure III. 5 : Les couches d'un panneau PV.....	21
Figure III. 6 : Cellule photovoltaïque.....	22
Figure III. 7 : Représentation d'une photopile en silicium	22

Figure III. 8 : Les différents type de cellule photovoltaïque	24
Figure III. 9 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	25
Figure III. 10 : Courbe caractéristique courant-tension d'une cellule.....	26
Figure III. 11 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température..	28
Figure III. 12 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement....	29
Figure III. 13 : Composition d'un panneau solaire photovoltaïque	30
Figure III. 14 : Installation photovoltaïque autonome.....	31
Figure III. 15 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau.....	32

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Figure IV. 1 : Multimètres.....	33
Figure IV. 2 : Testo Anémomètre + Temp	34
Figure IV. 3 : Pyranomètre.....	34
Figure IV. 4 : Rapporteur	34
Figure IV. 5 : Thermomètre digital	35
Figure IV. 6 : Les panneaux PV SA-80 et AP-PM 100 sous différentes inclinaisons	35
Figure IV. 7 : Le panneau solaire PV SA-80 fixe sud-est.....	36

Chapitre V : Résultats et discussions

Figure V. 1 : Organigramme de conversion	41
Figure V. 2 : Les différentes positions utilisées	41
Figure V. 3 : Courbes journalières de l'évolution de température et de rayonnement.....	42
Figure V. 4 : Courbes mensuelles d'évolution des températures (12H&15H) et du Rayonnement.....	43
Figure V. 5 : Courbes des températures moyennes mensuelle.....	44
Figure V. 6 : L'influence du vent sur la température du module	44
Figure V. 7 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 15°	45
Figure V. 8 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 30°	45
Figure V. 9 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 60°	46
Figure V. 10 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 90°	47
Figure V. 11 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 15°	47
Figure V. 12 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 30°	48
Figure V. 13 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 60°	49

Figure V. 14 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 90°	49
Figure V. 15 : Courbe température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 15° ..	50
Figure V. 16 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 30°	51
Figure V. 17 : Courbe température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 60° ..	51
Figure V. 18 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 90°	52
Figure V. 19 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 15°	53
Figure V. 20 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 30°	53
Figure V. 21 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 60°	54
Figure V. 22 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 90°	54
Figure V. 23 : Diagrammes de tension et courbe de température	55
Figure V. 24 : Diagrammes de courant et courbe de température.....	56
Figure V. 25 : Diagrammes de puissance et courbe de température	56
Figure V. 26 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 15° fixe.....	57
Figure V. 27 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 30° fixe.....	58
Figure V. 28 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 60° fixe.....	58
Figure V. 29 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 90° fixe.....	59
Figure V. 30 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 15° fixe	60
Figure V. 31 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 30° fixe	60
Figure V. 32 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 60° fixe	61
Figure V. 33 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 90° fixe	61
Figure V. 34 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 15° fixe.....	62
Figure V. 35 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 30° fixe.....	63
Figure V. 36 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 60° fixe.....	63
Figure V. 37 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 90° fixe.....	64

Figure V. 38 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 15° fixe.....	65
Figure V. 39 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 30° fixe.....	65
Figure V. 40 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 60° fixe.....	66
Figure V. 41 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 90° fixe.....	66
Figure V. 42 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 fixe....	67
Figure V. 43 : Courbe de température et diagramme du courant du module SA-80 fixe	68
Figure V. 44 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 fixe.....	69
Figure V. 45 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 15°	70
Figure V. 46 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 30°	70
Figure V. 47 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 60°	71
Figure V. 48 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 90°	71
Figure V. 49 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 15°	72
Figure V. 50 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 30°	73
Figure V. 51 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 60°	73
Figure V. 52 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 90°	74
Figure V. 53 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 15°	74
Figure V. 54 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 30°	75
Figure V. 55 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 60°	75
Figure V. 56 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 90°	76
Figure V. 57 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 15°	76
Figure V. 58 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 30°	77
Figure V. 59 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 60°	77

Figure V. 60 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 90°	78
Figure V. 61 : Courbe de température et diagramme de tension du module AP-PM 100	78
Figure V. 62 : Courbe de température et diagramme de courant du module AP-PM 100.....	79
Figure V. 63 : Courbe de température et diagramme de puissance du module AP-PM 100 ..	80
Figure V. 64 : Le Montage de fibre de jute et condition d'expérience du panneau photovoltaïque installé	81
Figure V. 65 : Schéma du montage avec fibre de jute	82
Figure V. 66 : Schéma du montage avec l'eau en circulation sur la face supérieure du panneau	83

Liste des tableaux

Chapitre I : L'énergie solaire

Tableau I. 1 : Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire	8
--	---

Chapitre II : Présentation de la région de Maradi et du site d'étude

Tableau II. 1 : Température maximale moyenne mensuelle 2018	13
Tableau II. 2 : Température minimale moyenne mensuelle 2018	13
Tableau II. 3 : Température moyenne mensuelle 2018	14
Tableau II. 4 : Température minimale moyenne mensuelle 2019	15
Tableau II. 5 : Température maximale moyenne mensuelle 2019	15
Tableau II. 6 : Température moyenne mensuelle 2019	15
Tableau II. 7 : Ecart de température à la moyenne 2019	16
Tableau II. 8 : Ecart de température à la moyenne 2018	16

Chapitre III : Généralités sur les technologies des cellules photovoltaïques

Tableau III. 1 : Les caractéristiques de ces trois technologies sont regroupées	24
Tableau III. 2 : Le coefficient de performance de différentes cellule	27

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Tableau IV. 1 : Les caractéristiques du module AP-PM-100	36
Tableau IV. 2 : Les caractéristiques du module SA-80	36
Tableau IV. 3 : Les données mensuelles moyennes du module monocristallin AP-PM 100 ..	38
Tableau IV. 4 : Les données mensuelles moyennes du module polycristallin SA-80 variable	38
Tableau IV. 5 : Les données mensuelles moyennes du module polycristallin SA-80 fixe	39

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V. 1 : Moyenne de températures et rayonnements	42
Tableau V. 2 : Moyenne de température et des tensions du module SA-80	55
Tableau V. 3 : Moyenne de température et des courants du module SA-80	56
Tableau V. 4 : Moyenne de température et des puissances du module SA-80	57
Tableau V. 5 : Moyenne de température et tension du module SA-80 sous 90° fixe	59
Tableau V. 6 : Moyenne de température et des tensions du module SA-80 fixe	67
Tableau V. 7 : Moyenne de température et des courants du module SA-80 fixe	68

Tableau V. 8 : Moyenne de température et des puissances du module SA-80 fixe	69
Tableau V. 9 : Moyenne de température et tensions du module AP-PM 100.....	79
Tableau V. 10 : Moyenne de température et courants du module AP-PM 100	79
Tableau V. 11 : Moyenne de température et courant du module AP-PM 100.....	80
Tableau V. 12 : Résultats de l'expérience sans fibre de jute et panneau sous 15°	82
Tableau V. 13 : Résultats de l'expérience avec fibre de jute et panneau sous 15°	82
Tableau V. 14 : Résultats de l'expérience avec fibre de jute et l'eau sur sa face réceptrice de lumière panneau sous 15°.....	83

Sigles et Abréviations

φ_{rs}	Le flux radiatif solaire
°C	Degré Celsius
a	Azimut
A	Le facteur de qualité de la diode
AM	Masse d'air (air mass)
AM ₀	Masse d'air hors atmosphère
AM _{1.0}	Masse d'air le soleil au zénith
AM _{1.5}	Masse d'air spectre standard le soleil est à 48.2°
C	La célérité (la vitesse de la lumière dans le vide)
CO ₂	Dioxyde de carbone
Courant-15	Courant produit par le panneau sous l'inclinaison 15 degré
Courant-30	Courant produit par le panneau sous l'inclinaison 30 degré
Courant-60	Courant produit par le panneau sous l'inclinaison 60 degré
Courant-90	Courant produit par le panneau sous l'inclinaison 90 degré
D	Diode idéale
d	Durée du jour
E _c	Energie cinétique
E _c	Energie cinétique
E _g	La largeur de la bande interdite
E _m	Eclairement moyen
E _{sol}	Energie reçue au sol
Et	Equation de temps
eV	Electron-volts
EVa	Ethylène de vinyle d'acétate
h	Hauteur du soleil
H _z	Hertz
I ₀	Courant de saturation
I _{cc}	Courant de court-circuit
I _D	Courant de la jonction PN
IEC	International electrotechnical commission
I _m	Courant maximal
I _{ph}	Courant photo-généré
J	Le numéro du jour dans l'année
K	Constante de Bolzman
Km	Kilomètre
Kwh/ans	Kilowatt heure par année
L	Latitude
l	Longitude
m/s	Mètre par seconde
m ² ; mm ² ; Cm ²	Mètre carré ; Millimètre carré ; Centimètre carré
n	Indice du milieu
P	Pression atmosphérique au
P ₀	Pression atmosphérique au niveau de la mer
P _m	Puissance maximale
Puissance-15	Puissance produite par le panneau sous l'inclinaison 15 degré
Puissance-30	Puissance produite par le panneau sous l'inclinaison 30 degré

Puissance-60	Puissance produite par le panneau sous l'inclinaison 60 degré
Puissance-90	Puissance produite par le panneau sous l'inclinaison 90 degré
PV	Panneau solaire photovoltaïque
PVF	Polyfluorure de vinyle
q	La charge électrique d'un électron
r	Rendement de conversion
R	Taux de réflexion
R _s	Résistance série
R _{sh}	Résistance shunt
S	La constante solaire
S ₀	Irradiance
S _c	La surface de la cellule
SS ₀	Durée maximale d'ensoleillement
T	Température absolue
T _a	Température ambiante
T _c	Température de la cellule
Temp	Température
Temp-11H	Température du panneau à 11Heure (heure local)
Temp-12H	Température du panneau à midi
Temp-15H	Température du panneau à 15 Heure (heure local)
Tension-15	Tension produite par le panneau sous l'inclinaison 15 degré
Tension-30	Tension produite par le panneau sous l'inclinaison 30 degré
Tension-60	Tension produite par le panneau sous l'inclinaison 60 degré
Tension-90	Tension produite par le panneau sous l'inclinaison 90 degré
TSM	Temps solaire moyen
TSV	Temps solaire vrai
Tuc	Température d'utilisation de la cellule
UDDM	Université Dan Dicko Dankoulodo
V	Tension
v	Volt
V _{co}	Tension en circuit ouvert
V _m	Tension maximale
W	Watt
W/m ²	Watt par mètre carré
W _c	Watt crête
z	Altitude du site
Z	L'altitude
δ	La déclinaison
η	La constante de Planck
λ	Longueur d'onde
μ _m	Micromètre
σ	Taux d'ensoleillement
v	La fréquence
φ	Flux incident
ω	Angle horaire

Introduction générale

Depuis des décennies l'humanité cherche les voies énergétiques pour assurer son développement économique, industriel et satisfaire à une demande croissante d'énergie due à la croissance démographique, cependant les voies utilisant les énergies fossiles tels que : le nucléaire, le pétrole, le charbon et les gaz naturels sont accompagnées avec des inconvénients sur l'environnement ainsi que sur la planète et certaines même très dangereuses comme le nucléaire. A l'exception du nucléaire, l'utilisation des énergies fossiles conduit à des réactions qui éjectent des gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone CO₂, ce gaz contribue à un réchauffement global de la planète et ce dernier conduit à un changement climatique provoquant une irrégularité des phénomènes naturels. Suites aux alarmes planétaires sur les dangers et le risque d'épuisement de ce stock énergétique, l'humanité converge peu à peu vers le type d'énergies entièrement renouvelables propres et disponibles partout en tout point du globe. Cependant cette énergie a un rendement faible comparativement aux énergies fossiles ce qui constitue un défi majeur.

Les énergies renouvelables sont issues du soleil dont entre autres l'énergie hydraulique, éolienne, les marées, le solaire etc. Ce dernier terme recouvre en réalité des nombreuses technologies, parmi lesquelles l'énergie photovoltaïque. Il s'agit de capter et transformer directement la lumière solaire en électricité par l'intermédiaire d'un matériau semi-conduction comme le silicium (traité et dopé) par exemple, dénommé cellule solaire photovoltaïque, photovoltaïque car ce sont les photons (particules de la lumière du soleil) qui vont déclencher le déplacement des électrons au sein du matériau, ainsi seront récupérés par un fil de connexion.

L'énergie solaire photovoltaïque a connu un véritable développement parmi les énergies renouvelables et est devenue une piste de solution à cause de sa disponibilité sur le marché et accessible surtout dans les pays en voie développement.

En effet, il existe plusieurs types des panneaux solaires photovoltaïques (générateurs d'électricité), par exemples : monocristallin, polycristallin et amorphe. Les différences se situent dans le rendement, le prix, l'aspect extérieur, la performance ainsi que dans la matière semi-conductrice utilisée.

Dans le but d'atteindre une meilleure exploitation de l'énergie solaire à Maradi, nous projetons d'étudier l'influence des paramètres climatiques notamment la température sur les performances des panneaux solaires photovoltaïques de différentes technologies.

L'objectif global de ce travail est d'évaluer la puissance et la tension des panneaux solaire PV dans la ville de Maradi sous l'action de la température, car c'est une zone bien ensoleillée et possède un gradient important de température et enfin choisir parmi les différentes technologies celle qui est plus ou moins adaptable dans la zone et proposer une solution pour diminuer la surchauffe des panneaux installés.

Le présent travail est structuré comme suit :

- ❖ Dans le premier chapitre nous parlerons de l'énergie solaire et du gisement solaire
- ❖ Le second chapitre est consacré à la présentation de la région de Maradi et du site d'étude. Ainsi on fera une étude de température du milieu.
- ❖ Le troisième chapitre est réservé aux généralités des technologies des cellules solaires photovoltaïques.
- ❖ Le quatrième chapitre est destiné aux matériels et méthodologies adaptées dans la réalisation de ce travail et enfin dans le dernier chapitre nous allons apporter des analyses, des discussions, interprétations des données et courbes tracées, et nous citerons quelques critères s'inscrivant dans la perspectives d'une meilleure efficacité des panneaux solaires photovoltaïques installés dans la ville de Maradi.
- ❖ Le travail s'achève par une conclusion générale des résultats obtenus au cours des expériences et perspectives.

Chapitre I : L'énergie solaire

Introduction

La terre reçoit quotidiennement sur sa surface un flux important d'énergie solaire. La puissance de ce rayonnement est fonction de plusieurs paramètres tels que : conditions météorologiques, diffusion atmosphérique (phénomènes de dispersion, de réflexion et d'absorption), l'orientation et l'inclinaison de la surface terrestre, la latitude et l'altitude du lieu, degré de pollution, la période de l'année et l'instant considéré dans la journée. A la distance moyenne du soleil à la terre (environ 150.10^6 km), une surface normale au rayonnement solaire (perpendiculaire à ce rayonnement) hors atmosphère reçoit environ 1367W/m^2 . Cet éclairement est appelé constante solaire.

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité encore importante arrive à la surface du sol. [1] On peut ainsi compter 1000 W/m^2 dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau.

I. Gisement Solaire

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes photovoltaïques. Par gisement solaire, on entend ici les différentes caractéristiques du rayonnement solaire, susceptibles d'influencer les performances d'un système solaire en un lieu donné du globe. On parlera aussi du spectre du rayonnement solaire.

1) Rayonnement solaire au sol

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le Soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevée, le Soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamma, en passant par la lumière visible. L'émission d'ondes électromagnétiques par le Soleil est bien modélisée par un corps noir à 5800 Kelvin, donc par la loi de Planck. Le pic d'émission est dans le jaune ($\lambda=570\text{ nm}$), et la répartition du rayonnement est à peu près pour moitié dans

la lumière visible, pour moitié dans l'infrarouge, avec 1% d'ultraviolets [3]. La quantité d'énergie solaire qui arrive au sol est sensiblement plus faible que la constante solaire. Le rayonnement est atténué lors de la traversée de l'atmosphère à cause de l'interaction avec les molécules et les particules constituant l'air. Avant de parvenir au sol, le rayonnement solaire traverse les différentes couches de l'atmosphère où il subit plusieurs modifications : Réflexions sur les premières couches atmosphériques, diffusion et absorption par les molécules gazeuses, diffusion par les aérosols (particules en suspensions dans l'air). A cause de ces phénomènes, le rayonnement solaire est sensiblement plus faible que la constante solaire. Cet affaiblissement est d'autant plus important que la couche atmosphérique traversée est plus grande [3]. Le coefficient adimensionnel appelé masse optique d'air ou masse atmosphérique AM.

$$AM = \frac{1}{\sin h} (0,89)^z \frac{P}{P_0} \quad (I.1) [3]$$

2) Différents types de rayonnements

En contact avec l'atmosphère terrestre le rayonnement solaire subit plusieurs modifications dont l'absorption, la diffusion et la réflexion. On distingue alors le rayonnement direct, le rayonnement diffus, l'albédo ou rayonnement réfléchi et rayonnement globale.

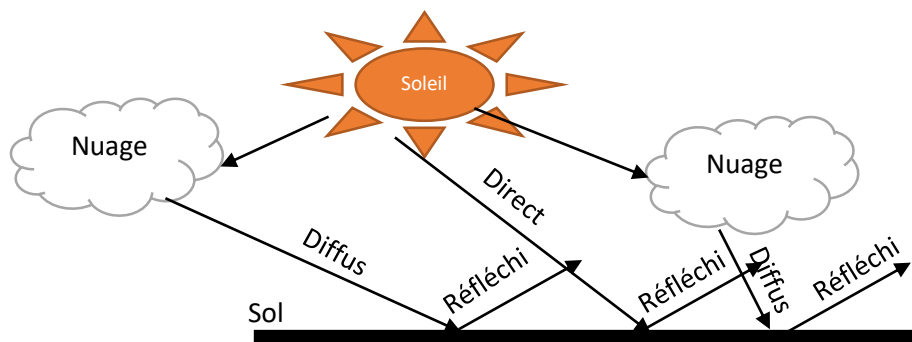


Figure I. 1 : Les différents formes de rayonnement solaire

a) Rayonnement direct

On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le soleil.

b) Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est la partie du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Ce type de rayonnement solaire n'a pas de direction privilégiée.

c) L'albédo ou rayonnement réfléchi

Les rayonnements réfléchis sont les rayonnements que la terre ou un objet renvoie. Car chaque corps rayonne et cette réflexion est différente d'un corps à un autre, cette différence est due à la différence des longueurs d'ondes de radiation.

d) Rayonnement global

Le rayonnement global est la somme de rayonnement direct et diffus. Au sol Le rayonnement global, est donc fonction de la composition et de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée. Il se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires à savoir les capteurs solaires, les générateurs photovoltaïques et même les êtres vivants.

3) Le spectre solaire

Le spectre du rayonnement électromagnétique solaire comporte une très grande étendue, depuis les rayonnements radio jusqu'aux rayons X. On distingue en général le spectre continu, qui est sensiblement égal à celui d'un corps noir à environ 6000 Kelvin et le spectre réel d'émission du soleil [4]. La figure I.2 présente la courbe d'énergie d'un corps noir à 6000 Kelvin, le rayonnement solaire hors de l'atmosphère et le rayonnement solaire au niveau de la mer en fonction de la longueur d'onde.

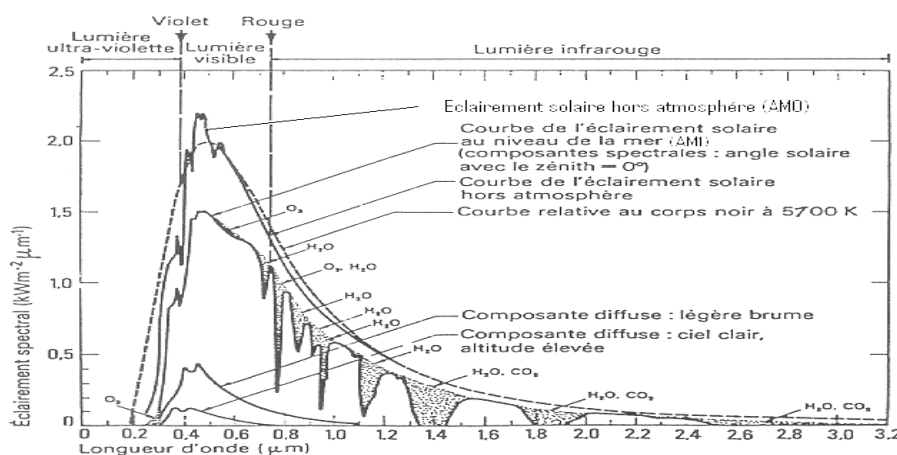


Figure I. 2 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre [28]

D'après la figure I.2, nous constatons que le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé. Par ailleurs, les spectres des rayonnements réfléchi, diffusé, et absorbé sont différents. A la surface de la terre, le spectre solaire n'est pas le même que dans l'espace, car il est pondéré par l'absorption des molécules présentes dans l'atmosphère. Les conditions climatiques ainsi que la présence de particules influencent également la valeur réelle du spectre. Pour tenir compte de ces différences, comparer les performances des cellules solaires et quantifier les différents spectres solaires utilisés, on introduit un coefficient appelé masse d'air (AMx) [4].

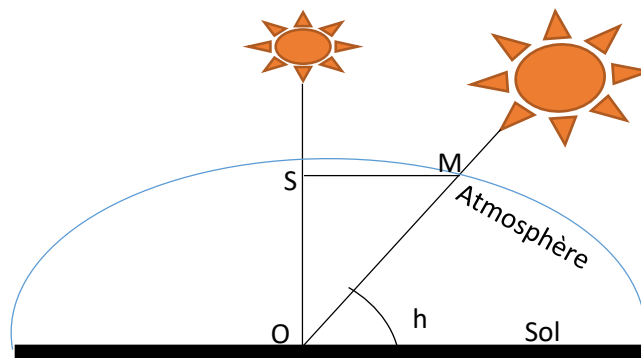


Figure I. 3 : Définition de masse d'air (air mass)

L'expression de masse d'air est définie par : $\sin(h) = \frac{OS}{OM}$ (I.2)

donc l'Air Mass (AM) ou masse d'air est : $\frac{OM}{OS} = \frac{1}{\sin(h)}$ (I.3)

La notation conventionnelle de ce concept est donnée par un nombre sans dimension AMx

$$x = \frac{1}{\sin h} \quad (I.4)$$

Par définition, AM_0 correspond aux conditions hors atmosphère. Quand le soleil fait un angle de 48.19° par rapport au zénith, la lumière incidente est dite $AM_{1.5}$. Le nombre de masse d'air caractérise la puissance transportée par le rayonnement solaire et de plus, sert de standard pour quantifier les performances de nouveaux dispositifs photovoltaïques. Les conditions standards de caractérisation sont définies par les normes IEC-60904 de l'International Electrotechnical Commission (IEC) selon une distribution spectrale $AM_{1.5}$ global (somme des rayonnements directs et diffus), d'intensité $1000W/m^2$ et pour une température de cellule de $25^\circ C$ [9]. Au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une composante directe et une composant diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par un obstacle : nuages, sol) formant le rayonnement global. La Figure

1.2 montre le spectre d'émission solaire sous AM_{1.5} global normalisé à 1000W/m². Sa valeur dépend de la pression, de l'altitude et de l'angle d'incidence des rayons lumineux. L'intégration de l'irradiance sur la totalité du spectre permet d'obtenir la puissance P (en W.m⁻²) fournie par le rayonnement. [10].

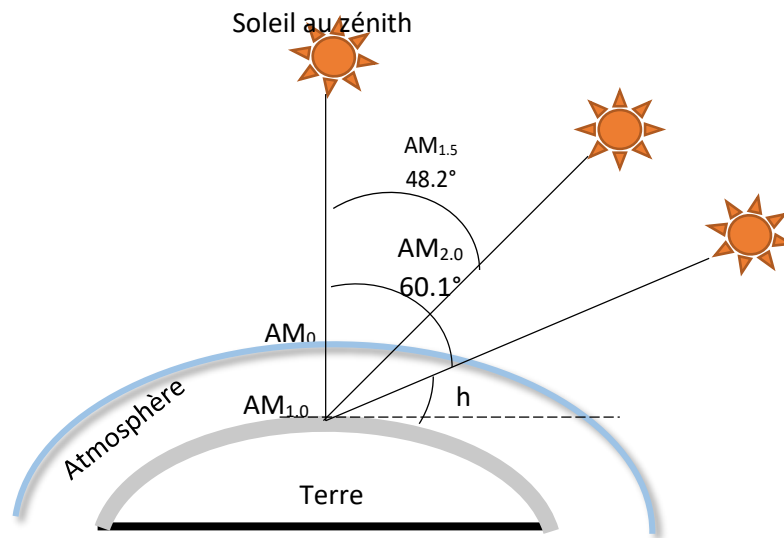


Figure I. 4 : Schéma indiquant le nombre d'air masse AMx en fonction de la position géographique.

I. Dualité de la lumière

La lumière peut être considérée sous forme d'ondes électromagnétiques de longueur d'onde λ ou sous forme de photons, corpuscules possédant une énergie E_c liée à λ par la relation suivante :

$$E_c = \eta\theta = \eta \frac{c}{\lambda} \quad [7] \text{ (I.5)}$$

La notion de dualité onde/corpuscule est importante pour comprendre les phénomènes d'interaction entre un rayonnement et un matériau. Les longueurs d'ondes du rayonnement solaire terrestre sont comprises entre 0,2 μ m (ultra-violet) et 4 μ m (infra-rouge) avec un maximum d'énergie pour 0,5 μ m. 97,5% de l'énergie solaire est comprise entre 0,2 μ m et 2,5 μ m. De 0,4 μ m à 0,78 μ m, le spectre correspond au domaine du visible. Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme de chaleur ou d'électrons.

Le tableau I-1 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photons pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux [6]

Tableau I. 1 : Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire

λ (μm)	E (ev)	Zone
0,2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

I. L'utilisation de la lumière solaire

Une infime partie de l'énergie du soleil atteint le sol terrestre par l'intermédiaire de la lumière, cette lumière peut être alors transformée.

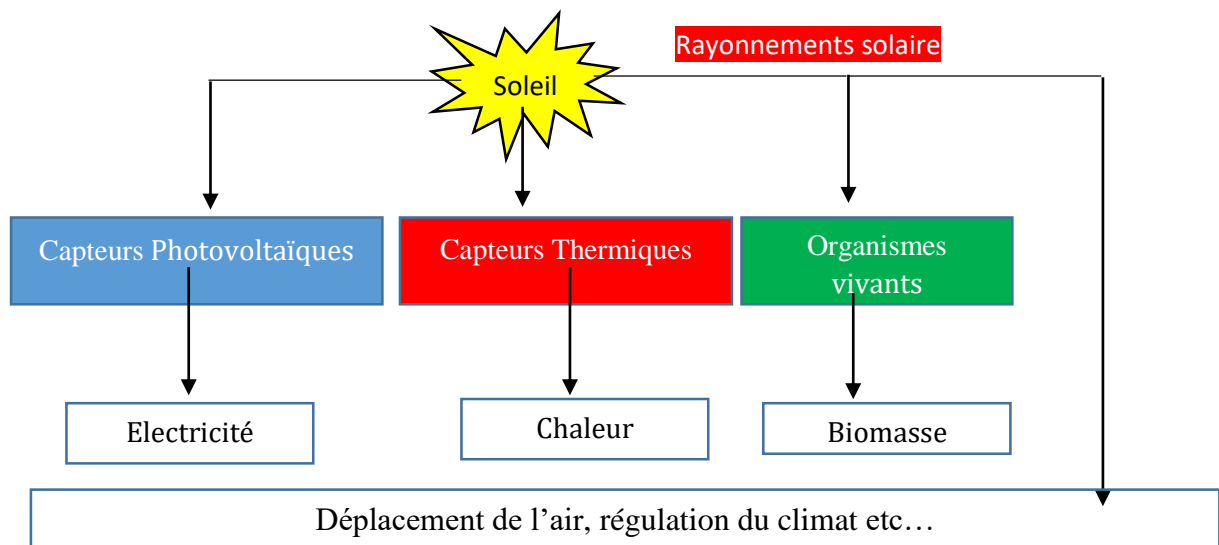


Figure I. 5 : Transformation de la lumière solaire

II. Energie solaire reçue par la terre /m²

1) Constante solaire

La constante solaire **S** est la densité de flux radiatif solaire, irradiance solaire, que reçoit une surface au sommet de l'atmosphère exposée perpendiculairement au rayonnement.



Figure I. 6 : Le flux radiatif arrivant sur une surface [4]

Compte tenu de la trajectoire elliptique de la terre au tour du soleil, la distance d'éloignement la plus grande se produisant le 3 juillet avec environ 153.10^6 km et la plus petite se produisant le 3 janvier avec environ 147.10^6 km, cette constante varie de $\pm 3\%$ en passant par un maximum en janvier avec environ 1413 W.m^{-2} et un minimum en juin avec environ 1321 W/m^2 . [7] Selon la définition d'irradiance $S_0 = \int I_s \cos(\theta) d\omega$ (1.6)

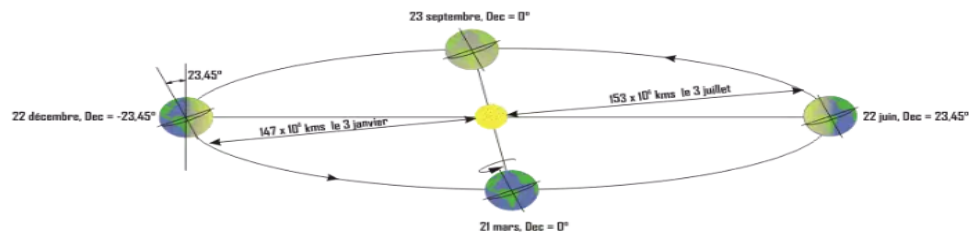


Figure I. 7 : Mouvement de la terre autour du soleil

2) Le flux radiatif solaire moyen

Le flux radiatif [2] solaire moyen est défini par : $\varphi_{rs} = S_0 \times 4\pi D_{T-S}^2$ (1.7)

3) Insolation solaire

L'insolation solaire est définie comme le flux de radiation solaire par unité d'aire horizontale au sommet de l'atmosphère.

4) Energie reçue en fonction du jour de l'année

L'énergie reçue en fonction du jour de l'année peut être exprimée par la formule suivante :

$$E_{sol} = 1367 \left(1 + 0.033 \cos \left(360 \left(\frac{j-2.7206}{365.25} \right) \right) \right) \quad (1.8) \text{ en W/m}^2$$

J représente le numéro d'ordre du jour dans l'année, par exemple (1^{er} janvier j=1) [8], Le graphique (Figure 1.8) ci-dessous est issu de cette formule.

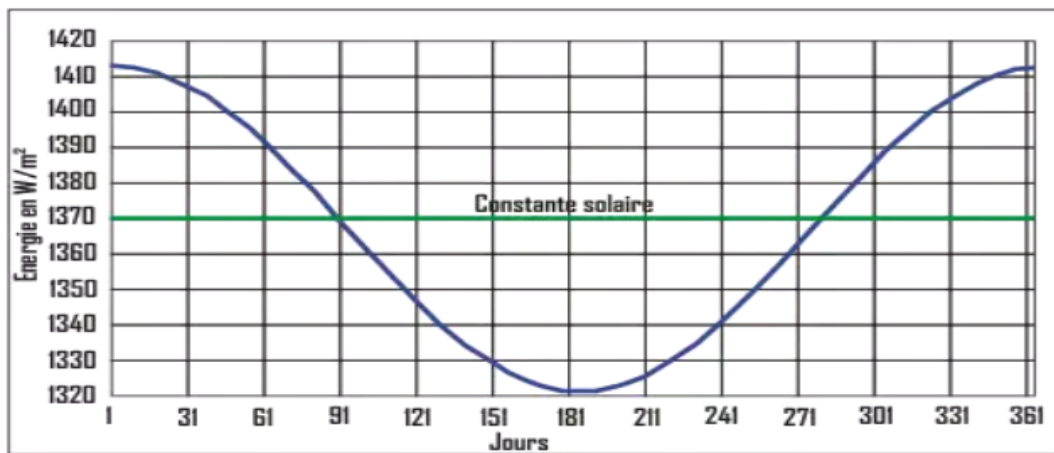


Figure I. 8 : La variation de la constante solaire au cours de l'année

Conclusion

Les données météorologiques concernant le rayonnement solaire ne sont généralement pas suffisantes pour pouvoir quantifier tous les phénomènes qui se produisent lorsqu'un panneau photovoltaïque reçoit de la lumière. Une bonne connaissance du gisement solaire s'avère nécessaire. Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur le gisement solaire. Ensuite, nous avons présenté les différents types de rayonnements (direct, diffus, albédo et global).

Chapitre II : Présentation de la région de Maradi et du site d'étude

Introduction

Maradi est l'une de huit régions du Niger située géographiquement à latitude 13° Nord et longitude 7° Est. C'est une zone du sahel avec une dominance en chaleur sur les douze mois de l'année. Cependant la région de Maradi n'a pas une indépendance énergétique et converge vers une énergie propre et disponible en abondance, les énergies renouvelables en particulier l'énergie solaire photovoltaïque or les panneaux solaires photovoltaïques exploitent de cette énergie sont sensibles en chaleur. Il est donc nécessaire d'étudier en premier lieu la température de la zone ainsi son climat.

I. La présentation de la région de Maradi

1) Situation géographique

La région de Maradi est située dans le centre sud du Niger sous les coordonnées géographiques latitude 13° Nord et longitude 7° Est. Avec près de 41796km² Maradi est formé de 8 départements. Elle est limitée par la région d'Agadez au nord, celle de Zinder à l'Est, la région de Tahoua à l'ouest et le Nigeria au sud. Elle est le lieu d'intersection de plusieurs routes, dont celle qui permet de rejoindre les villes de Katsina et Kano au Nigeria tout proche.

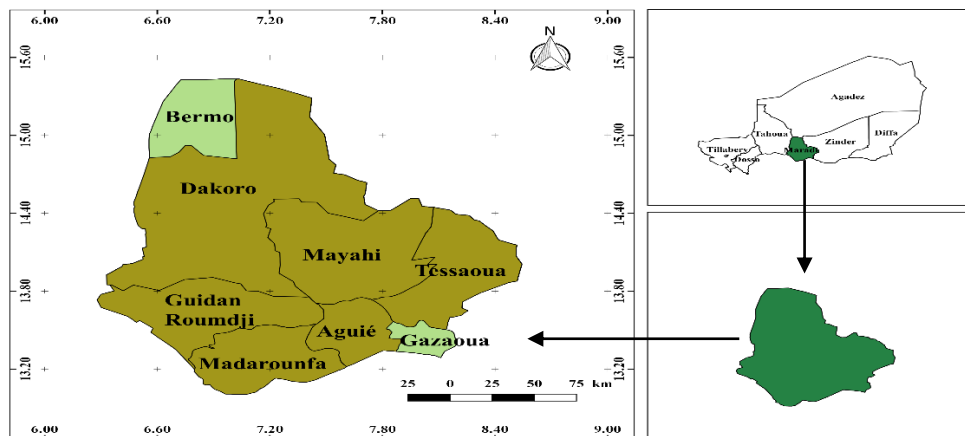


Figure II. 1 : Carte de la région de Maradi

2) Relief et environnement

La ville de Maradi se situe à 370m d'altitude. Le relief de la région est plat, avec un réseau hydrographique non fonctionnel, à l'exception du goulbi N'kaba et de quelques uns de

ces affluents qui présentent un écoulement hydrique éphémère pendant la saison des pluies, entre mois de juillet septembre. [11]

3) Le Climat.

Le climat de la région de Maradi est tropical Sec, semi-aride ou sahélien, avec une longue saison sèche. La région de Maradi présente deux types de climats bien distincts. Il y a d'abord le climat de type sahélien au Nord caractérisé par des précipitations annuelles moyennes comprises en 200 et 300 mm et le climat sahélo-soudanien au Sud, caractérisé par des précipitations annuelles moyennes comprises entre 500 et 600mm. Ces climats se caractérisent par trois saisons distinctes [11] :

- La saison sèche et froide d'octobre- février avec des températures de 10°C
- La saison sèche et chaude de Mars- Mai avec de température de plus de 40°C
- La saison pluvieuse de juin - septembre avec des températures relativement basses.

II. La présentation de la ville de Maradi et du lieu d'étude

La ville de Maradi est située dans le département de Madarounfa limitée au Nord par la commune de Tibiri à l'ouest par la commune de Sarkin yamma au sud par Dan Issa et à l'est par la commune de Jiratawa. Le lieu de notre étude dénommé Nouveau site de l'université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi est siégé dans la ville de Maradi situé à latitude 13.49° Nord et longitude 7.13° Est.

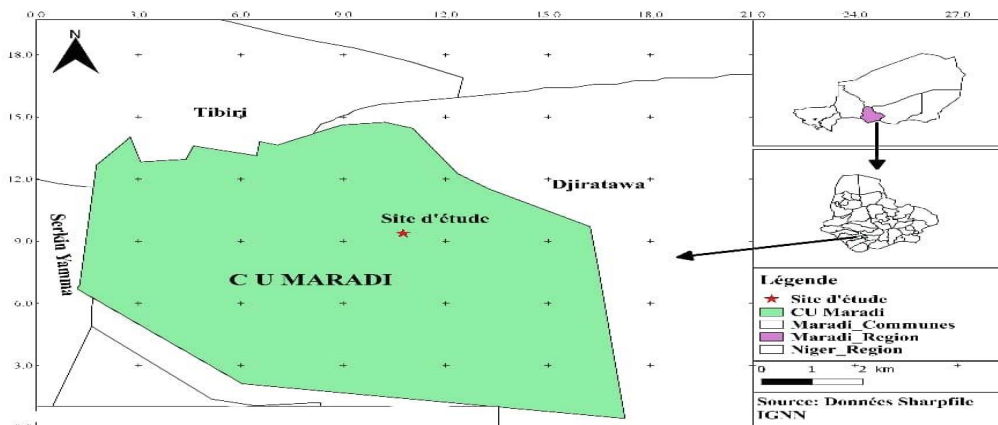


Figure II. 2 : Carte de la ville de Maradi montrant le site d'étude



Figure II. 3 : Vue aérienne du site d'étude et du laboratoire de physique [12]

1) Etude de variation de la température de la ville Maradi

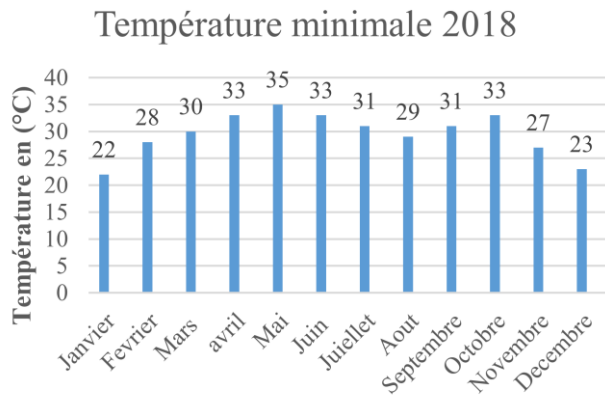


Figure II. 4 : Diagramme de températures minimales moyennes mensuelles 2018

Région de Maradi

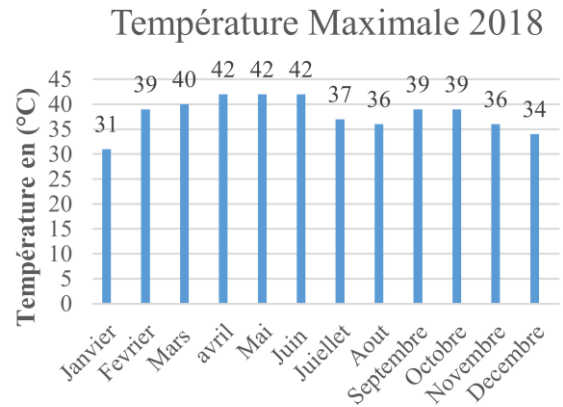


Figure II. 5 : Diagramme de températures maximales moyennes mensuelles 2018

Région de Maradi

Tableau II. 1 : Température maximale moyenne mensuelle 2018

Année 2018-Maradi	
Mois	Température maximale (°C)
Janvier	31
Février	39
Mars	40
avril	42
Mai	42
Juin	42
Juillet	37
Août	36
Septembre	39
Octobre	39
Novembre	36
Décembre	34

Tableau II. 2 : Température minimale moyenne mensuelle 2018

Année 2018-Maradi	
Mois	Température minimale (°C)
Janvier	22
Février	28
Mars	30
avril	33
Mai	35
Juin	33
Juillet	31
Août	29
Septembre	31
Octobre	33
Novembre	27
Décembre	23

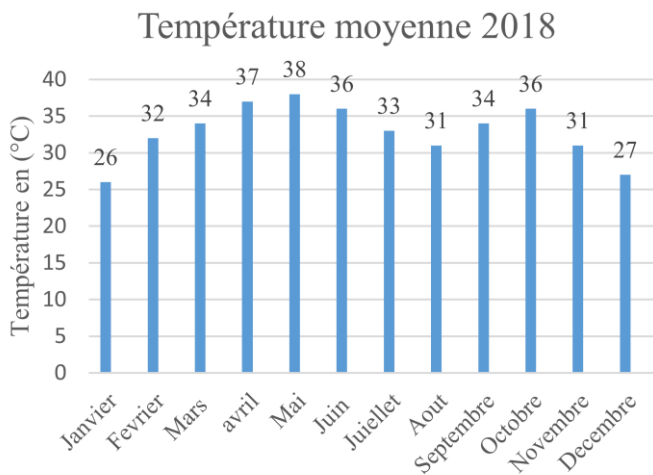


Figure II. 6 : Diagramme de températures moyennes mensuelles

Région de Maradi

Tableau II. 3 : Température moyenne mensuelle 2018

Année 2018-Maradi	
Mois	Température moyenne (°C)
Janvier	26
Février	32
Mars	34
avril	37
Mai	38
Juin	36
Juillet	33
Août	31
Septembre	34
Octobre	36
Novembre	31
Décembre	27

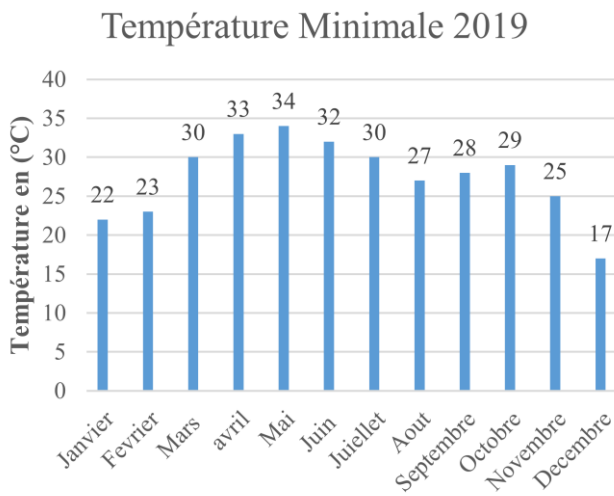


Figure II. 7 : Diagramme de températures minimales moyennes mensuelles 2019

Région de Maradi

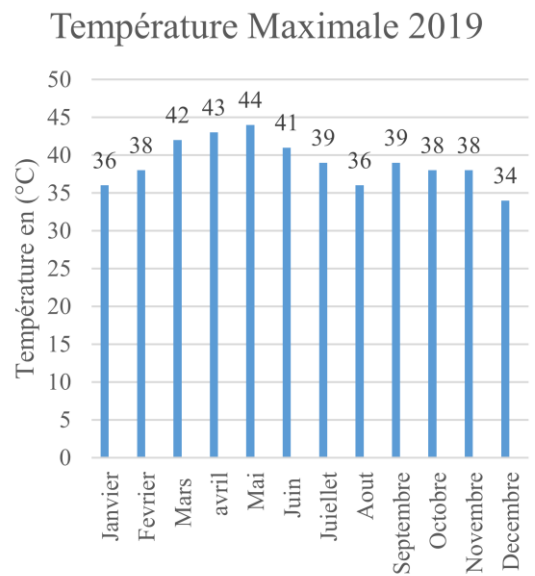


Figure II. 8 : Diagramme de températures maximales moyennes mensuelles 2019

Région de Maradi

Tableau II. 4 : Température minimale moyenne mensuelle 2019

Année 2019-Maradi	
Mois	Température minimale (°C)
Janvier	22
Février	23
Mars	30
avril	33
Mai	34
Juin	32
Juillet	30
Août	27
Septembre	28
Octobre	29
Novembre	25
Décembre	17

Tableau II. 5 : Température maximale moyenne mensuelle 2019

Année 2019-Maradi	
Mois	Température maximale (°C)
Janvier	36
Février	38
Mars	42
avril	43
Mai	44
Juin	41
Juillet	39
Août	36
Septembre	39
Octobre	38
Novembre	38
Décembre	34

[13] & [14]

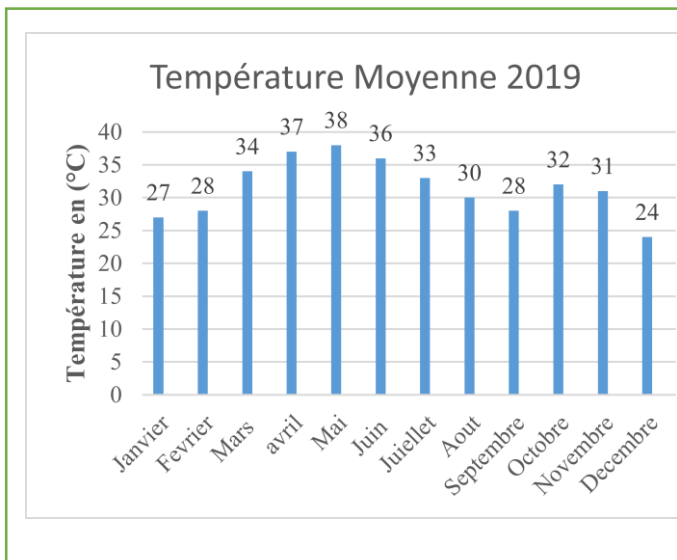


Figure II. 9 : Diagramme de températures moyennes mensuelles

Tableau II. 6 : Température moyenne mensuelle 2019

Année 2019-Maradi	
Mois	Température moyenne (°C)
Janvier	27
Février	28
Mars	34
avril	37
Mai	38
Juin	36
Juillet	33
Août	30
Septembre	28
Octobre	32
Novembre	31
Décembre	24

Tableau II. 7 : Ecart de température à la moyenne 2018

Mois	Ecart à la moyenne 2018	
	Ecart-Mini	Ecart-Max
Janvier	4	5
Février	4	7
Mars	4	6
Avril	4	5
Mai	3	4
Juin	3	6
Juillet	2	4
Août	2	5
Septembre	3	5
Octobre	3	3
Novembre	4	5
Décembre	4	7

Tableau II. 8 : Ecart de température à la moyenne 2019

Mois	Ecart à la moyenne 2019	
	Ecart-Mini	Ecart-Max
Janvier	5	9
Février	5	10
Mars	4	8
Avril	4	6
Mai	4	6
Juin	4	5
Juillet	3	6
Août	3	6
Septembre	0	11
Octobre	3	6
Novembre	6	7
Décembre	7	10

Analyse des figures précédentes issues des données de deux années notamment 2018 et 2019 de Maradi montre que la période la plus chaude de la région de Maradi s'étend du mois de Mars jusqu'au mois de juin avec près de 42°C (max) en moyenne enregistrée en 2018 et variant de 41 à 44°C (max) en moyenne enregistrée en 2019. Nous constatons aussi que l'année 2019 présente un gardien important de température comparativement à l'année 2018 avec une moyenne annuelle de 32.91°C soit 33°C Contre 31.5°C soit une augmentation d'environ 1.5°C.

Conclusion

En définitive, La région de Maradi est une zone où sur les douze (12) mois de l'année la température moyenne mensuelle de dix (10) mois reste nettement supérieure à 36 °C. Ceci confirme que cette zone reçoit un grand flux d'intensité lumineuse et possède un gradient important de température car la lumière solaire transporte de la chaleur d'où l'énergie solaire.

Chapitre III : Généralités sur les technologies des cellules photovoltaïques

Dans ce chapitre on va donner des généralités sur les systèmes photovoltaïques, les différents types de ces cellules, leurs fonctionnements, les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque et application.

Introduction

Les photopiles ou cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est-à-dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants. Le matériau de base est dans la plupart des cas le silicium. Selon le procédé de la fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, polycristalline ou monocristalline. Les cellules photovoltaïques sont raccordées entre elles pour former des modules photovoltaïques pouvant convertir en électricité environ 15 % de l'énergie solaire reçue. Un panneau de 1m² fournit une puissance de 100W et produit de 80 à 150kWh/an. Son impact sur l'environnement est minime, avec un temps de retour énergétique faible, suivant la technologie utilisée, un capteur photovoltaïque met entre 1.5 à 3 ans pour produire l'énergie nécessaire à sa fabrication, ce qui est négligeable par rapport à sa durée de vie, estimer entre 25 et 35 ans selon le fabricant [15]. Les modules photovoltaïques produisent un courant continu qui est transformé par la suite en courant alternatif au moyen d'un onduleur et transféré en fin sur les réseaux du bâtiment et / ou du distributeur, ou alimente des batteries avant d'être transformé. La quantité d'énergie éjectée par l'installation photovoltaïque dépend de sa surface, de l'inclinaison des panneaux, de l'intensité du rayonnement solaire qui arrive sur le lieu et de la chaleur cumulée à la surface des panneaux.

I. La conversion photovoltaïque

Les semi-conducteurs sont des matériaux utilisés pour la fabrication des dispositifs électroniques et optoélectroniques. La première étape de la conversion de la lumière en courant électrique est la génération au sein du semi-conducteur des porteurs de charges que (les électrons libres et les trous) par l'absorption de l'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques, leur permettant de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Des électrodes déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur permettent la collecte de ce courant [15].

La production d'électricité est proportionnelle à la surface des modules photovoltaïques exposés au soleil et à l'intensité lumineuse. Dépendante des conditions météorologiques, la production est donc aléatoire. L'énergie peut être utilisée en direct (cas des pompes solaires) ou stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure. Une cellule éclairée convenablement fournit une tension électrique continue de 0,5 à 0,6V (cellule en silicium). Cette tension dépend peu de l'éclairement fourni (sauf quand celui-ci est trop faible). L'intensité, donc la puissance, dépend fortement de l'éclairement et elle est proportionnelle à la surface de la cellule. Elle est de quelques centièmes d'ampère pour une surface très bien ensoleillée de 1 cm². La surface d'une cellule est comprise entre quelques mm² (photopile de montre) et 400 cm². Il n'y a pas de limite théorique pour cette surface, mais les difficultés techniques, donc les coûts, augmentent avec les dimensions [16].

1) Propriétés électriques

a) Photoconductivité

Caractérisée par la présence de quatre électrons sur sa couche périphérique (figure III.1), le silicium présente toutes les propriétés électriques d'un semi-conducteur permettant de convertir la lumière absorbée en électricité. Ce transfert d'énergie des photons aux charges électriques s'appelle la photoconductivité : il s'explique par la propriété que présente le silicium à contenir quatre électrons relativement mobiles dotés d'une faible énergie de liaison. Dans l'obscurité, les électrons sont peu mobiles ; à la lumière, les photons absorbés par le silicium apportent une telle énergie que la mobilité des électrons du matériau s'en trouve fortement accrue, ce qui se traduit par une augmentation de la conductivité du matériau. Le principe de ce photo-courant est le suivant : les électrons tournent autour du noyau sous l'effet de la lumière ; les électrons de la couche périphérique des atomes sont « arrachés » sous l'action du choc d'un photon. Les électrons « décrochés » des atomes créent ainsi un courant continu directement utilisable aux bornes de la cellule photovoltaïque, sous une tension électrique continue [16].

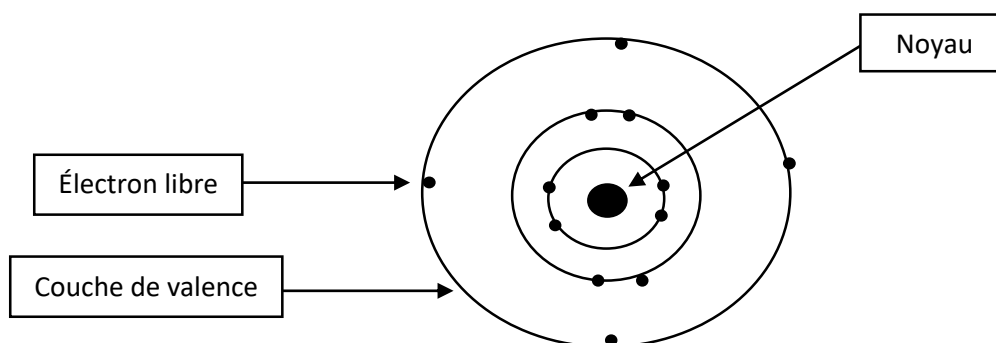


Figure III. 1 : Représentation d'un atome de silicium et ses quatre électrons de valence sur la couche périphérique

Pour arracher un électron, il faut que le photon ait suffisamment d'énergie. Le photon possède une énergie cinétique (E) qu'il est possible de déterminer comme suit :

$$E = n.v \text{ avec } v = C/\lambda ; E = \frac{nc}{\lambda} \quad (\text{III.1})$$

L'énergie cinétique (E) nécessaire à l'arrachage des électrons est donc inversement proportionnelle à la longueur d'onde du photon (λ). Ainsi, pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) soit arraché pour participer à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimale (seuil d'énergie) afin qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (la bande de conduction) : c'est l'énergie du gap optique ou largeur de bande interdite E_g , exprimée en eV. Cette valeur seuil est propre à chaque matériau en raison de la structure électronique différente de chaque type d'atomes. Elle est de 1,1 eV pour le silicium cristallin et de 1,7 eV pour le silicium amorphe [17].

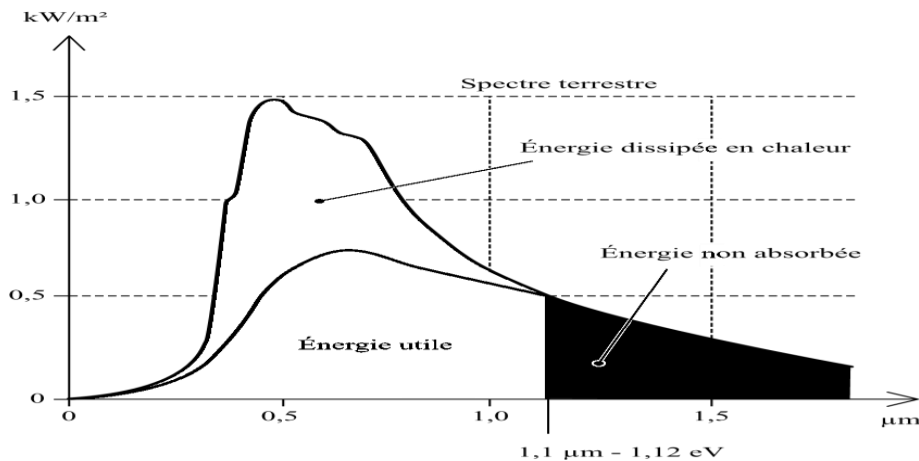


Figure III. 2 : Spectre solaire AM0 pour le silicium [19]

2. Propriétés optiques de la lumière

Un rayon lumineux formé de photons entrant en contact sur un matériau solide subit trois manifestations optiques simultanées (figure III.3) : L'absorption ; La réflexion ; La transmission.

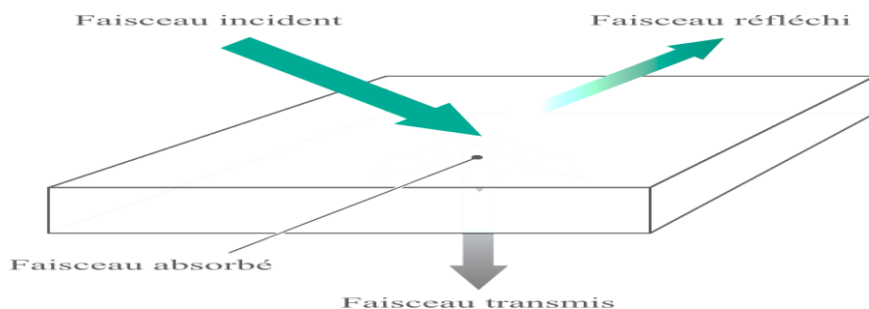


Figure III. 3 : Les trois événements optiques d'un rayon lumineux[19]

a) Absorption

Seule la lumière absorbée est restituée sous forme d'énergie électrique. Le matériau photovoltaïque utilise différemment toutes les longueurs d'ondes du spectre solaire : il se caractérise par sa réponse spectrale, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle il transforme l'énergie d'un rayonnement d'une longueur d'onde en énergie électrique. Cette efficacité dépend essentiellement des caractéristiques du matériau. Ainsi, la courbe d'absorption d'une cellule photovoltaïque au silicium ne concerne qu'une partie du rayonnement : celle comprise entre 0,35 et 1,1 μm , à savoir une partie du rayonnement ultraviolet (0,35 à 0,40 μm), l'essentiel du rayonnement visible (0,40 à 0,70 μm) et une partie du rayonnement infrarouge (0,70 à 1,10 μm) [17].

b) Transmission

Selon l'épaisseur du matériau, la transmission de la lumière est plus ou moins importante : les cellules au silicium cristallin à forte épaisseur (0,2 μm) ne transmettent pas de lumière, contrairement aux dispositifs en couche mince de type silicium amorphe (épaisseur < 1 μm) à travers lesquels la transmission n'est pas négligeable. Pour diminuer cette transmission, il est possible d'appliquer, à l'arrière d'un matériau « rugueux », une électrode présentant une propriété de réflexion adaptée (comme l'aluminium) qui piège la lumière dans le matériau par diffusion de la lumière réfléchi sur l'aluminium [16].

c) Réflexion

La réduction de la réflexion de la lumière se fait en jouant sur les indices de réfraction des matériaux traversés, indices directement dépendants du taux de réflexion des matériaux (Figure III.4) [17].

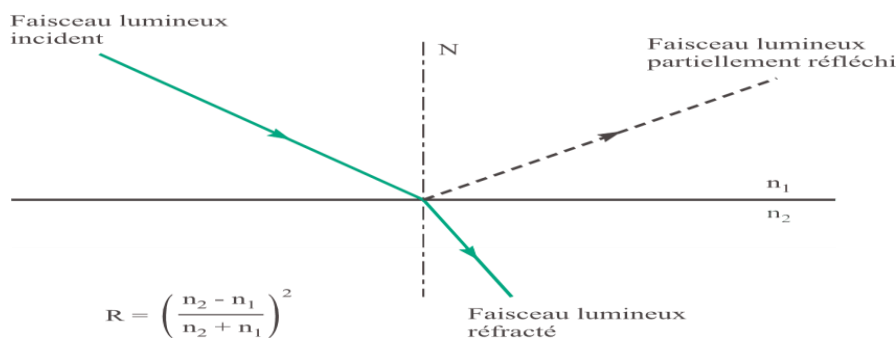


Figure III. 4 : Taux de réflexion[27]

Plus la différence des indices de réfraction est élevée de part et d'autre d'une surface, plus elle est réfléchissante.

Par exemple, le silicium brut, d'un indice de réfraction de 3,75, au contact direct avec l'air (d'un indice de réfraction de 1) réfléchit 33 % de la lumière incidente, pourcentage trop élevé pour assurer un rendement acceptable de la conversion photovoltaïque. Le moyen de réduire ce taux de réflexion est d'intercaler entre le silicium et l'air un empilement optique constitué de matériaux à indice de réfraction différente afin de diminuer le différentiel de réfraction entre l'air et le silicium (figure III.5) [18].

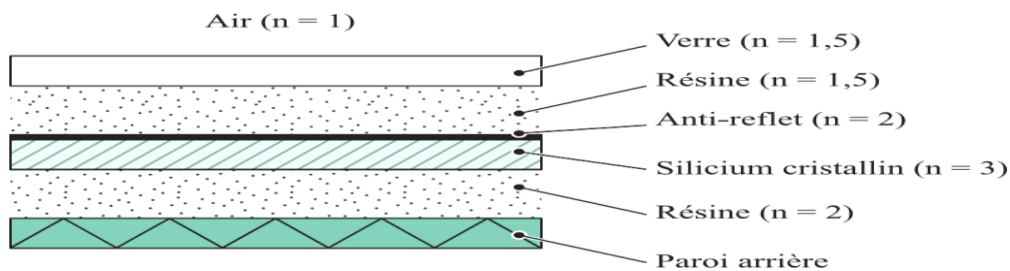


Figure III. 5 : Les couches d'un panneau PV

L'autre moyen de réduire le taux de réflexion est d'ajouter en surface un film antireflet qui diminue le renvoi de rayons lumineux vers l'atmosphère, et donc d'absorber une grande partie du flux lumineux. Selon ce principe, un laboratoire d'Osaka traite la surface des cellules pour obtenir des microcavités destinées à piéger la lumière. Plus récemment, un fabricant de revêtements spéciaux a développé une solution de dioxyde de titane qui, lorsqu'elle est appliquée sur le substrat de verre des cellules photovoltaïques, réduit la réflexion du substrat et génère de nouveaux petits faisceaux à l'intérieur du revêtement, augmentant ainsi le taux de conversion solaire de 3 à 5 % [18].

3. Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque est relativement simple. Il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité, cette opération repose sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. L'effet photovoltaïque permet à certains matériaux d'émettre des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Une cellule photovoltaïque est constituée d'un de ces matériaux, généralement du silicium qui est toujours disponible dans la nature, et conçue de telle sorte que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être exploité [19]. La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment d'un même matériau où entre deux matériaux différents, la moins épaisse étant soumise au flux lumineux. Chacune des régions est reliée à une électrode métallique au moyen d'un contact ohmique de faible résistance. Le

principe de fonctionnement peut être décomposé en deux parties : l'absorption des photons et la collecte des porteurs de charges créés. Cependant Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués à des atomes de silicium dans un réseau cristallin : c'est ce que l'on appelle dopage. Il existe deux types de dopage : le dopage de type N et le dopage de type P :

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera du type 'N', On peut prendre comme exemple le dopage au phosphore
- Si l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il sera dit de type 'P' On retiendra comme exemple le dopage de Bore.

Ainsi on obtiendra une cellule en constituant une jonction de deux zones de type opposées (jonction PN). Au voisinage de la jonction, un champ électrique apparaît provoqué par le déséquilibre de charges. Il va contribuer à drainer les électrons qui auront été détaché par énergie des photons (petite particule qui constitue la lumière) ou simplement des rayonnements en provenance du solaires ou bien d'une source lumineuse contenant de longueurs d'onde capable d'enclenché les électrons [21]

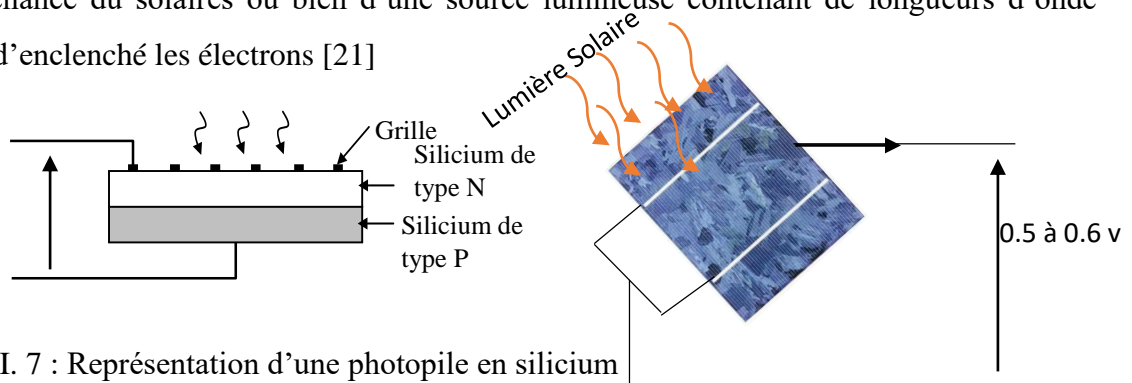


Figure III. 7 : Représentation d'une photopile en silicium

Figure III. 6 : Cellule photovoltaïque

II. La Technologie utilisée

Les principales technologies industrialisées en série à ce jour sont le silicium mono ou polycristallin et le silicium en couche mince ou amorphe. Cependant toutes ces technologies présentes des particularités distinctes. Plusieurs technologies sont actuellement développées pour réaliser des cellules photovoltaïques dont les degrés de maturité, de performance et de durée de vie sont très différents. Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Pour le rendre opérationnel, il doit subir au préalable une série de traitements : Un procédé de raffinage permettant la réduction du silicium, procédé dit métallurgique pour le rendre pur à 99 % ; suivi d'une seconde purification chimique pour lui donner toutes les qualités électroniques nécessaires [20].

1) Cellules au silicium monocristallin

Il est constitué d'un seul cristal offrant à la cellule un arrangement parfait des atomes. Il présente un rendement légèrement supérieur au silicium polycristallin (15 %) ; néanmoins, il reste assez onéreux en raison de son exigence de grande pureté et de l'importante quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication.

2) Cellules au silicium polycristallin (ou multi-cristallin)

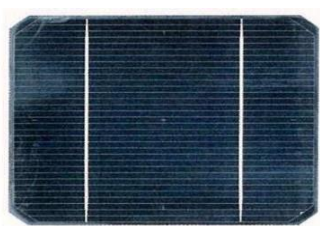
Il est constitué de plusieurs monocristaux juxtaposés dans différentes orientations donnant à la cellule un aspect mosaïque. Le silicium polycristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement (13 %) pour des coûts de fabrication maîtrisés. Il offre actuellement un bon rapport qualité/prix.

3) Cellules au silicium amorphe

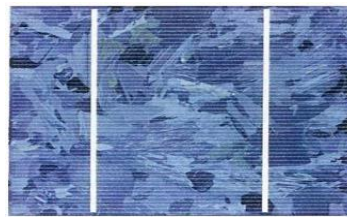
Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support ; ce support peut être souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère, en partie, une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, calculatrices, luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron ; son rendement de conversion est faible (de 5 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.

Tableau III. 1 : Les caractéristiques de ces trois technologies sont regroupées

Type	Durée de vie	Avantages	Inconvénients
Cellule en silicium monocristallin	+/- 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement (environ 150Wc/m²) • Durée de vie importante 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé • Rendement faible sous un faible éclairement
Cellule en silicium polycristallin	+/- 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement (environ 100Wc/m²) • Durée de vie importante • Meilleur marché que le monocristallin 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous un faible éclairement.
Cellule en silicium Amorphe en couche mince	+/- 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement avec un éclairement faible • Bon Marché par rapport aux autres types de cellules • Moins sensible aux températures élevées 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible en plein soleil environ 60Wc /m² • Durée de vie courte



Cellule monocristalline



Cellule poly cristalline



Cellule amorphe

Figure III. 8 : Les différents type de cellule photovoltaïque

Une cellule solaire est présentée par un ensemble constitué d'une source de courant, d'une diode D (modélise la jonction P-N), d'une résistance série R_s (modélise les pertes résistives au sein de la cellule, Elle est liée à l'impédance des électrodes et du matériau) et d'une résistance shunt R_{sh} , pour tenir compte des phénomènes dissipatifs de la cellule (La résistance shunt correspond la résistance fuite entre les deux zones N et P).

1) Circuit équivalent d'une cellule solaire photovoltaïque

Ce circuit est modélisé comme suit :

Une diode montée en parallèle avec la source du courant et la résistance shunt R_{sh} et l'ensemble en série avec la résistance série R_s .

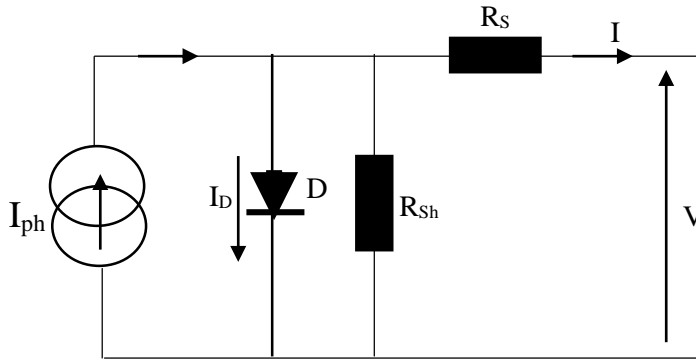


Figure III. 9 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

2) Mise en équation du modèle de la cellule solaire

L'équation Mathématique reliant le courant délivré par une cellule PV et la tension à ses bornes est donnée par la loi de nœud : $I_{ph} = I_{R_{sh}} + I + I_D$ (III.2)

Le courant qui traverse la résistance shunt est donné par : $I_{R_{sh}} = \frac{V+I \times R_s}{R_{sh}}$ (III.3)

Le courant de jonction est donné par : $I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+I \times R_s)}{AKT}\right) - 1 \right]$ (III.4)

De (1) on a $I = I_{ph} - I_D - I_{R_{sh}}$ (III.5) en remplaçant les expressions de $I_{R_{sh}}$ et I_D dans

$$(3.5) \text{ on obtient } I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+I \times R_s)}{AKT}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V+I \times R_s}{R_{sh}}\right) \quad (III.6)$$

Si on suppose que la résistance R_{sh} est très grande (cas de silicium monocristallin) alors la quantité $\left(\frac{V+I \times R_s}{R_{sh}}\right)$ tend vers zéro et l'expression de I devient sensiblement égale à :

$$I \approx I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+I \times R_s)}{AKT}\right) - 1 \right] \quad (III.7)$$

Essayons de tirer la tension de sortie de la cellule à partir de la relation (III.7)

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+I \times R_s)}{AKT}\right) - 1 \right] \quad \begin{aligned} q &= 1.602810^{-19} \text{ coulomb (C)} \\ K &= 1.3806610^{-23} \text{ Joules/kelvin (J/K)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}-I+I_0}{I_0}\right) - I \times R_s \quad (III.8)$$

3) Les grandeurs caractéristiques d'une cellule solaire

a) Courbe caractéristique électrique

Une cellule photovoltaïque est définie par sa courbe caractéristique électrique (courant-tension). Elle indique la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule depuis le court-circuit jusqu'au circuit ouvert (figure III.10).

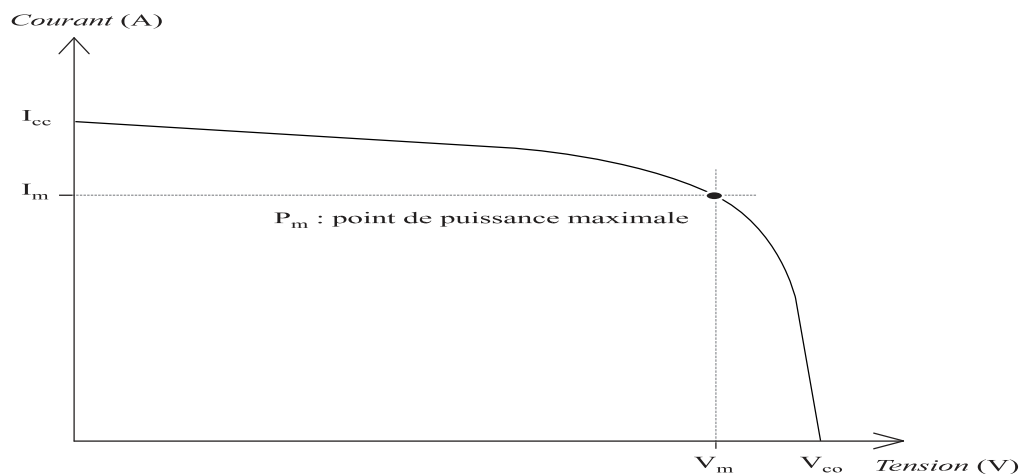


Figure III. 10 : Courbe caractéristique courant-tension d'une cellule.

b) Tension de circuit ouvert V_{co}

Tension du circuit (V_{co}) correspondant à la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul, c'est-à-dire quand la cellule n'alimente aucune charge. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse. En supposant que R_{sh} est suffisamment grande on obtient :

$$V_{co} = \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0}{I_0} \right) \quad (\text{III.9})$$

c) Courant de court-circuit I_{cc}

Le courant de court-circuit (I_{cc}) correspondant au courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle (en pratique, ce courant est très proche du photo-courant I_{ph}). Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V = 0$ dans le schéma équivalent).

d) Facteur de forme

La puissance fournie au circuit extérieure par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule) [20], cette puissance est maximale pour un point de fonctionnement $P_m (I_m, V_m)$ de la courbe courant-tension. On appelle facteur de forme FF le rapport entre la puissance

maximum fournie par la cellule P_m et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit ouvert V_{co} (c'est à dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{cc} V_{co}} \quad (\text{III.10})$$

e) Rendement de conversion d'énergie

Le rendement r des cellules photovoltaïque désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivré par la cellule et la puissance reçue par cette dernière [22].

$$r = \frac{V_m I_m}{S_c \varphi} \quad (\text{III.11})$$

f) Rendement énergétique des trois principales technologies

Tableau III. 2 : Le coefficient de performance de différentes cellule

Type de cellule	Cellule à base de silicium monocristallin	Cellule à base de silicium polycristallin	Cellule à base de silicium amorphe
Coefficient de performance de la cellule (%)	15 – 18	13 – 15	5 – 8

4) Influence de la température

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique : elle se dissipe sous forme de chaleur ; c'est pourquoi la température de la cellule (T_c) est toujours plus élevée que la température ambiante (T_a).

$$T_c = T_a + \frac{E_m}{800} (TUC - 20) \quad [30] \quad (\text{III.12})$$

Avec : T_c : température de la cellule ($^{\circ}\text{C}$) ; T_a : température ambiante ($^{\circ}\text{C}$) ; E_m : éclairement moyen (W/m^2) ; TUC : température d'utilisation de la cellule ($^{\circ}\text{C}$). Une élévation de la température (de jonction) des cellules solaires provoque un important accroissement de leur courant à l'obscurité et favorise une légère augmentation de la création de paires électron-trou. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction du photo-courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une légère augmentation du courant I_{cc} accompagnée d'une forte diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P_m vers les puissances inférieures

Le graphe de la figure III.11 montre que la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale.

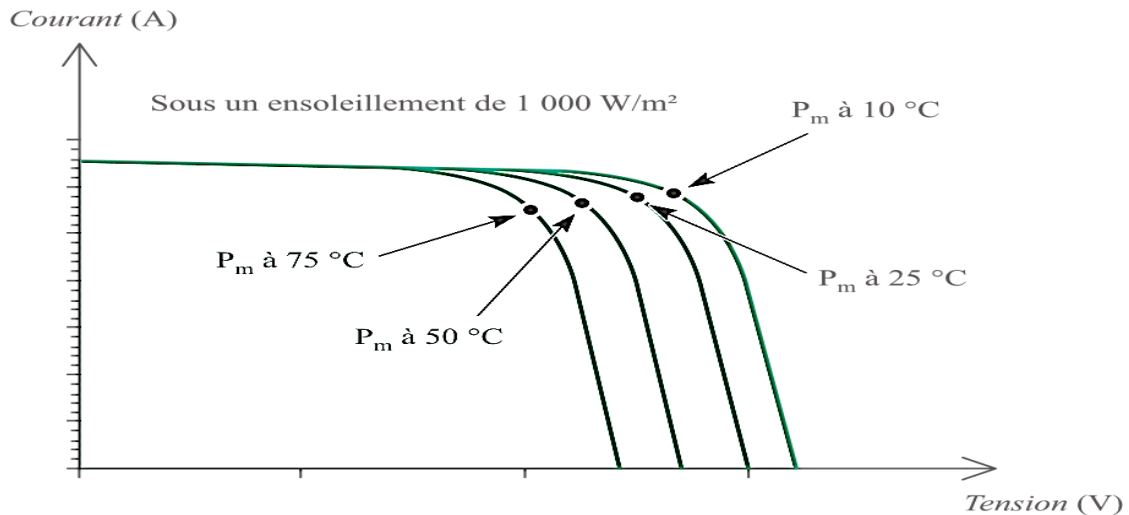


Figure III. 11 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température

Le comportement global de la cellule en température est une perte de 0,4 à 0,5 %/° C. Afin de limiter cette baisse de production, une ventilation adaptée des modules par l'arrière doit être prévue pour éviter l'augmentation de la température durant les mois les plus ensoleillés et souvent les plus chauds. Sur des systèmes intégrés, le maintien de la ventilation devient plus délicat.

5) Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure III.11 représente la caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes : le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement (figure III.12).

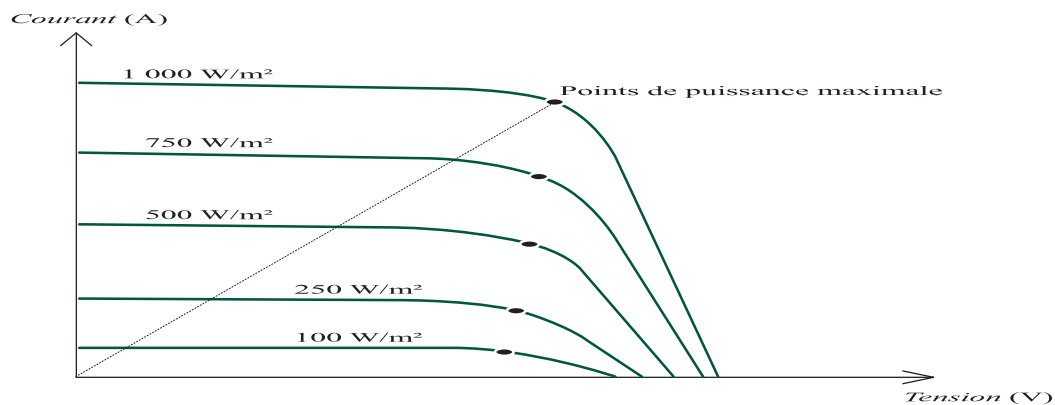


Figure III. 12 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

Pour augmenter l'éclairage des cellules, il est conseillé de les orienter de sorte que les rayons solaires frappent perpendiculairement la surface de la cellule : il est possible d'utiliser des panneaux à orientation et inclinaison fixes, ou des panneaux à inclinaison variable présentant un rendement bien meilleur

IV. Panneau solaire photovoltaïque

1. Association des cellules photovoltaïques

Dans les conditions standard, la puissance maximale pour une cellule au silicium de 10 cm² serait de l'ordre de 1,25 W. La cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de très faible puissance, insuffisante pour la plupart des applications domestiques ou industrielles [23]. Les générateurs photovoltaïques sont en fait réalisés par association, en série et/ou parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires : ces groupements sont appelés modules. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant pour la même tension. Ainsi, pour atteindre une tension désirée, il suffit de connecter en série plusieurs cellules de même courant : c'est la notion d'appairage.

L'appairage est très délicat à réaliser, en raison des caractéristiques différentes des cellules, du fait de la dispersion inévitable des constructions mais aussi d'un éclairement et d'une température non uniformes sur l'ensemble du réseau. Pour un module au silicium cristallin utilisé pour une application en 12 V, il faut assembler en série 36 cellules (en 4 rangés de 9), valeur extrêmement courante concernant les panneaux commercialisés.

2. La composition d'un panneau solaire PV

Les cellules assemblées sont ensuite protégées sous un conditionnement conférant à l'ensemble une bonne résistance mécanique et une protection efficace aux agressions extérieures. Il s'agit de l'encapsulation :

- En face avant : revêtement en verre ou en résine (matériaux pouvant supporter de grandes chaleurs et garantir des coefficients de transmission élevés) ;
- En face arrière : revêtement en verre ou en plastique de type PVF.

L'ensemble des cellules est noyé dans un matériau organique transparent, en général de la résine EVA (éthylène de vinyle d'acétate). Un joint latéral en silicone assure l'étanchéité de l'ensemble et les deux extrémités du module sont ramenées vers une boîte de connexion nécessaire au raccordement vers l'utilisation, le tout étant souvent serti d'un cadre de fixation [24]. En pratique, un module photovoltaïque se caractérise simplement par sa puissance nominale (exprimée en watt crête W_c , selon les conditions de fonctionnement standard), qui dépend de sa surface et de l'ensoleillement incident. La tension délivrée par le module dépend du nombre de cellules connectées en série. Pour un module de petite puissance (inférieure à $75 W_c$), la tension d'usage est comprise entre 12 et 15 volts. Des modules d'une puissance plus importante sont obtenus par l'augmentation du nombre de cellules en série et l'augmentation du nombre de branches de cellules en parallèle. La tension d'usage peut être de 24 volts ou plus selon la configuration du système à alimenter [24].

Plusieurs modules interconnectés constituent un panneau, et plusieurs panneaux assemblés correspondent à un champ photovoltaïque.

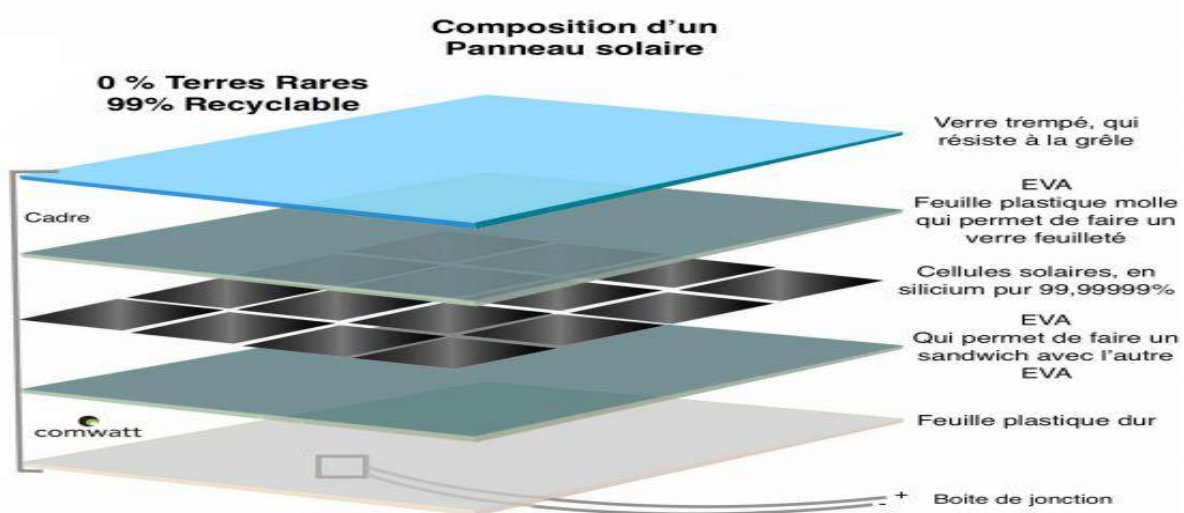


Figure III. 13 : Composition d'un panneau solaire photovoltaïque [25]

L'assemblage des modules en série et/ou en parallèle permet de fixer différentes tensions et puissances.

V. Application photovoltaïque

Il existe deux types de mise en œuvre d'une installation photovoltaïque selon qu'elle fonctionne de manière autonome ou qu'elle est raccordée à un réseau public de distribution d'électricité.

1) Installation photovoltaïque autonome

L'installation photovoltaïque autonome (figure III.14) produit de l'électricité pour un bâtiment ou un autre consommateur qui n'est pas relié au réseau. La plupart de ces installations alimentent des sites éloignés de tout réseau public (habitat difficile d'accès en montagne ou sur une île par exemple) ou des instruments isolés (comme des relais de télécommunication, bouées de signalisation maritime, signalisations autoroutières, etc.). Pour une utilisation en courant continu, un régulateur électronique assure la charge d'une batterie d'accumulateurs (généralement en 12 V pour les petites installations). Il permet d'arrêter la charge des batteries lorsque celles-ci sont complètement chargées et de couper le courant dans le circuit de consommation avant que les batteries ne soient complètement déchargées [26].

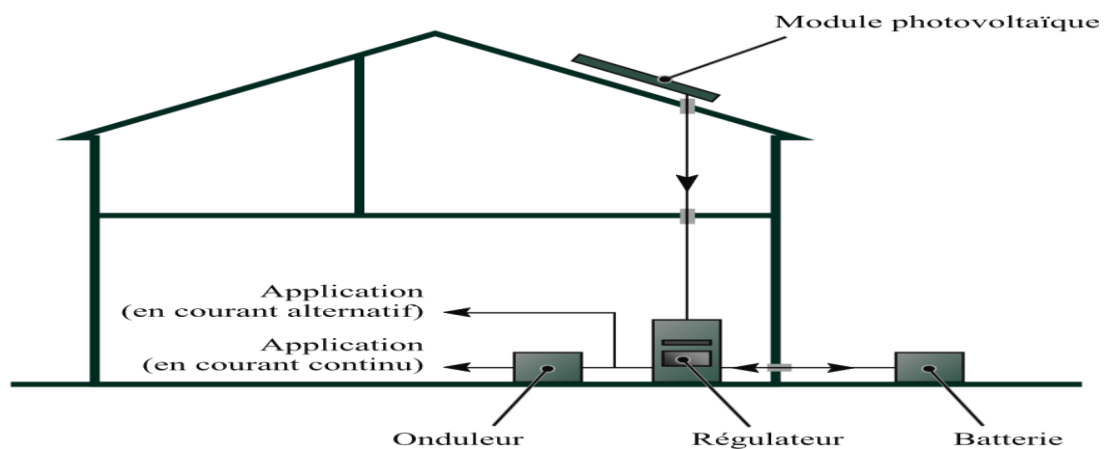


Figure III. 14 : Installation photovoltaïque autonome[27]

Les batteries stockent l'énergie produite par le champ photovoltaïque pour la restituer à la demande. Les batteries les plus utilisées sont au plomb, en raison de leur faible coût et de la simplicité de leur mise en œuvre. Si les appareils électriques utilisés sont prévus pour fonctionner avec du courant alternatif, un onduleur est nécessaire.

2) Installation photovoltaïque raccordée au réseau

Les panneaux solaires photovoltaïques peuvent être raccordés au réseau de distribution électrique (figure III.15). Ce raccordement ne peut se faire qu'après transformation, à l'aide

d'un onduleur, du courant continu de tension variable fourni par les panneaux en courant alternatif adapté aux caractéristiques du réseau.

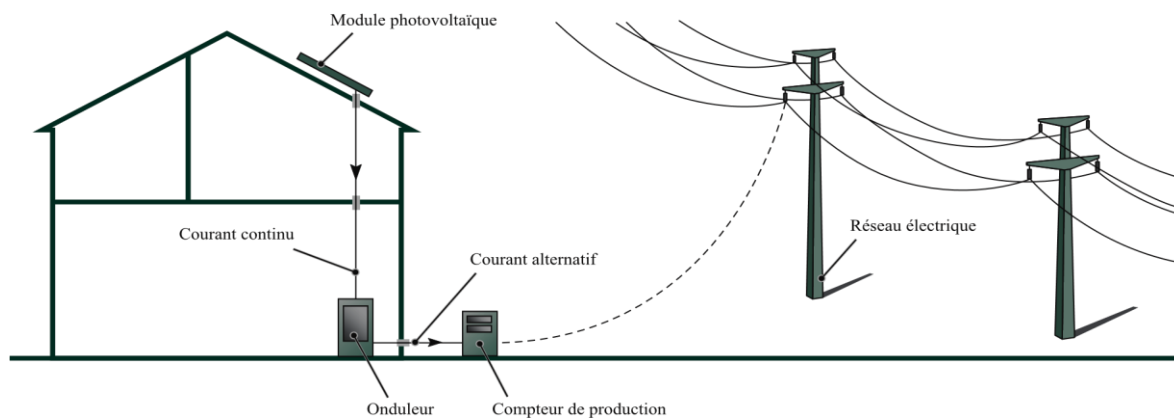


Figure III. 15 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau[27]

Conclusion

En somme, technologiquement et techniquement un générateur photovoltaïque à un comportement similaire à celui d'une diode à jonction PN de par sa constitution et les matériaux utilisés dans sa fabrication (semi-conducteur). On peut donc modéliser une cellule par la jonction PN proche, dénommée cellule idéale.

Dans ce chapitre nous avons présenté les propriétés de la lumière, les différentes technologies d'une cellule photovoltaïque, le principe de conversion en expliquant brièvement le phénomène de l'effet photovoltaïque. Nous avons vu que la cellule PV présente une caractéristique $I(V)$ non linéaire et possède un point de puissance maximale caractérisé par un courant maximale (I_m) et une tension maximale (V_m) et qu'elle peut être modélisée par un circuit électrique simple (figure III.10). Nous avons aussi présenté l'influence des différents paramètres extérieurs tels que la température et l'éclairement sur la caractéristique courant tension de la cellule, Nous avons aussi vu la composition d'un panneau solaire PV et enfin son application dans le système autonome ou raccordé au réseau.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre le rapport température- puissance d'une cellule suite à cela nous nous intéressons sur le comportement d'un panneau solaire PV installé dans la ville de Maradi.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Introduction

Pour satisfaire une étude on est obligé d'avoir les matériels adaptés pour la réalisation du travail et il est impérativement indispensable de décrire la procédure à suivre afin de garantir un bon travail. Dans ce chapitre nous allons montrer la démarche que nous allons suivre dans la collecte de données, ainsi que les matériels utilisés tout au long de notre travail.

I. Matériels utilisés

Les matériels qu'on a pu utiliser lors de la collecte des données sont :

Le pyranomètre, trois modules photovoltaïques dont deux modules polycristallins de 80W chacun et un module monocristallin de 100W, les fils de connexion, un appareil testo doté de deux fonctions incorporées d'un thermomètre et anémomètre, un thermomètre digital, modèle GTH 175/PT, rapporteur permettant de régler l'angle d'orientation des panneaux, d'un stylo, d'une fiche de relevé et deux multimètres à affichage numérique.

1. Multimètre digital



Figure IV. 1 : Multimètres

Ces appareils servent à mesurer plusieurs grandeurs entre autres la tension continue et alternative, l'intensité du courant continue et alternatif, la continuité du courant, la résistance, la capacité d'un condensateur et distinction des transistors NPN et PNP par la fonction hFE, toutes ces fonctions sont incorporées dans ces appareils, on utilise ces fonctions grâce au sélecteur de calibre et suivant les normes de tolérance de chacun par exemple le premier multimètre DT9205A peut mesurer jusqu'à 20 ampères pour le courant alternatif ou continu et 1000 volts pour la tension continue et 750 volts pour la tension variable tandis que le deuxième multimètre DT9205L en bleu ne peut que mesurer 10 Ampères pour le courant alternatif ou variable et 1000 volts pour tension continue et 700 volts pour la tension variable. Nous avons utilisé ces appareils dans l'intention de mesurer les deux grandeurs que les modules photovoltaïques génèrent sous l'action de la lumière solaire reçue, à savoir la tension et le courant de nos modules installés.

2. Testo Anémomètre + Temp



Figure IV. 2 : Testo Anémomètre + Temp

C'est un appareil doté de deux fonctions anémomètre pour la mesure de vitesse du vent et thermomètre pour la mesure de la température, nous avons exploité cet appareil au voisinage de notre panneau pour obtenir une température approximative du panneau et on le soulève de côté pour mesurer le flux d'air qui arrive sur la surface du panneau.

3. Pyranomètre

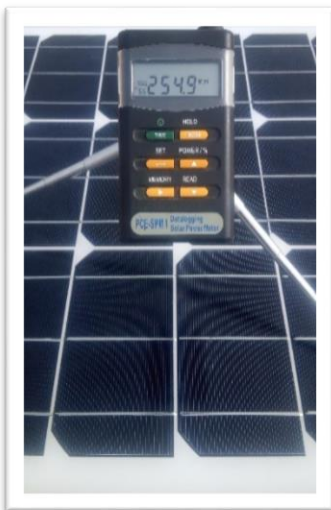


Figure IV. 3 : Pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré [28].

Nous avons utilisé cet appareil dans le but de mesurer le rayonnement solaire au moment de chaque prise de tension, courant et température du module photovoltaïque pour comparer l'évolution de ces grandeurs avec le rayonnement.

4. Le rapporteur



Figure IV. 4 : Rapporteur

C'est un instrument de mathématiques (en géométrie), il sert à mesurer l'angle d'inclinaison par rapport à un plan horizontal ou verticale. Nous avons utilisé ce matériel dans le but de mesurer l'angle d'inclinaison du panneau solaire photovoltaïque par rapport à l'axe du plan horizontal de son support.

5. Thermomètre digital modèle GTH 175/PT



C'est un thermomètre modèle GTH 175/PT à affichage numérique. Cet appareil nous donne l'évolution de la température de la face supérieure du panneau solaire photovoltaïque en fixant son connecteur contre la face réceptrice de la lumière solaire au coin angulé pour éviter le phénomène d'ombrage.

Figure IV. 5 : Thermomètre digital

6. Les panneaux solaires photovoltaïques installés au nouveau site.

Nous avons utilisé quatre (4) positions d'angles d'inclinaison des panneaux PV en suivant le mouvement du soleil et un panneau PV fixe sud-est.

a) Les panneaux solaires PV sous les différentes position d'angles



Figure IV. 6 : Les panneaux PV SA-80 et AP-PM 100 sous différentes inclinaisons

Les différentes positions suivies continuellement tout au long de la journée nous permet de prévoir l'influence de la température, de l'éclairement, de position et orientation sur les caractéristiques courant-tension de ces deux panneaux placés suivant le sens du soleil.

b) Le panneau fixe sous l'orientation sud-est



Figure IV. 7 : Le panneau solaire PV SA-80 fixe sud-est

c) Les caractéristiques des panneaux installés

➤ Pour le modèle AP-PM-100

Tableau IV. 1 : Les caractéristiques du module AP-PM-100

Panneau de 100W	Monocristallin
E	1000W/m²
TC	25°C
AM	1.5
Puissance max	100W
Tolérance	5%
Courant max	5.71A
Tension max	17.5V
Courant de court-circuit	6.39A
Tension en circuit Ouvert	22.05V

➤ Pour le modèle SA-80

Tableau IV. 2 : Les caractéristiques du module SA-80

Panneau de 80W	Polycristallin
E	1000W/m²
TC	25°C
AM	1.5
Puissance max	80W
Tolérance	5%
Courant max	4.568A
Tension max	17.6
Courant de court-circuit	5.12 A
Tension en circuit Ouvert	21V

II. Les méthodes utilisées

Nous allons utiliser deux méthodes dont une pour la collecte de données et l'autre pour le traitement de données. La méthode proprement dite extractive.

1) La méthode adapter pour la collecte de données

Nous avons placé au niveau site /université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi trois panneaux solaires dans le but d'extraire les données tels que : le courant de court-circuit I_{cc} , la tension en circuit ouvert V_{CO} , la température de panneaux, la vitesse du vent et le rayonnement solaire. Nous avons fait un calendrier par jour pour le relevé de ces grandeurs de nos panneaux dont deux panneaux un de 80W polycristallin et un de 100W monocristallin sont en position variable et un de 80W sous la position fixe sud-est tout au long de la journée. Le panneau de 100W monocristallin et un de 80W polycristallin sont utilisés dans l'orientation du soleil pour capter le maximum de puissance tout au long de la journée, c'est-à-dire au moment de chaque relevé on les tourne suivant le sens du soleil. Pour avoir une idée comparative sur la production des panneaux, nous avons utilisé quatre angle d'orientations : 15° , 30° , 60° et 90° degré, sur les trois panneaux installés.

2) La méthode extractive

Dans ce travail nous avons appliqué la méthode extractive de Bouzidi [29] pour quantifier les paramètres caractéristiques des panneaux solaires photovoltaïques installés avec des températures variables. La même méthode a été utilisée par Salaheddine Bensalem [5]. Cette méthode nous permet d'extraire les paramètres du module PV à savoir la tension en circuit ouvert, le courant du court-cuit et la température approximative du panneau. Grâce à ces données nous pouvons remarquer le comportement de chaque module que nous avons utilisé au préalable.

3) La méthode utilisée pour le traitement de données

Les données que nous avons pu enregistrer dans nos fiches de relevé, nous leurs avons placées dans un logiciel classeur nommé Excel, on a fait avec ce logiciel des tableaux : des Températures, des rayonnements, de vent et des grandeurs tensions (15° , 30° , 60° et 90°), Intensité (15° , 30° , 60° et 90°), puissance (15° , 30° , 60° et 90°) des tous les trois panneaux, après on a fait la moyenne mensuelle de chacune d'heure (7h, 9h, 10h, 12h, 15h, 16h et 17h : 30mn) mentionnée dans notre calendrier d'étude. Après achèvement des tableaux nous avons fait, des graphes (courbes) avec ce même logiciel (Excel) qu'on va analyser et interpréter plus tard dans le chapitre V. En générale notre méthode est basée sur l'analyse et interprétation des courbes que nous avons tracées grâce aux données réelles collectées sur les trois panneaux solaires photovoltaïques installés au nouveau site/université UDDM.

III. Les données collectées

1) Les données du module monocristallin de 100w position variable

Tableau IV. 3 : Les données mensuelles moyennes du module monocristallin AP-PM 100

Moyenne Mensuelle								
Horaires/Grandeurs	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15	0,38	3,66	4,29	4,59	4,04	3,21	0,68	2,98
Courant-30	0,63	3,81	4,46	4,88	4,24	3,32	0,66	3,14
Courant-60	0,43	2,90	3,78	4,54	3,41	2,40	0,41	2,55
Courant-90	0,28	2,22	3,13	3,98	2,72	1,76	0,32	2,06
Tension-15	19,71	21,15	20,92	20,46	20,40	20,48	19,38	20,36
Tension-30	19,98	20,88	20,69	20,34	20,15	20,33	19,26	20,23
Tension-60	19,63	20,70	20,58	20,28	19,98	20,03	18,84	20,00
Tension-90	19,05	20,46	20,38	20,19	19,76	19,73	18,35	19,70
Puissance-15	7,56	77,40	89,82	93,89	82,42	65,81	13,23	61,45
Puissance-30	12,67	79,59	92,26	99,19	85,44	67,54	12,64	64,19
Puissance-60	8,53	60,13	77,72	92,05	68,20	48,04	7,66	51,76
Puissance-90	5,24	45,42	63,71	80,26	53,70	34,72	5,82	41,27
Vitesse de vent (m/s)	1,51	2,75	3,22	2,85	1,92	1,67	1,34	2,18
Rayonnement(W/m ²)	172,10	832,34	936,02	984,21	895,07	723,48	179,57	674,68

2) Les données du module polycristallin de 80w position variable

Tableau IV. 4 : Les données mensuelles moyennes du module polycristallin SA-80 variable

Moyenne mensuelle								
Horaires/Grandeurs	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15 (A)	0,33	3,38	3,83	4,15	3,66	2,90	0,63	2,70
Courant-30 (A)	1,50	3,31	3,88	4,21	3,68	2,81	0,57	2,85
Courant-60 (A)	0,36	2,48	3,25	3,92	2,93	2,04	0,33	2,19
Courant-90 (A)	0,22	1,81	2,57	3,45	2,30	1,45	0,20	1,71
Tension-15 (V)	20,72	22,65	22,52	21,94	21,73	21,81	20,32	21,67
Tension-30 (V)	21,03	22,45	22,28	21,80	21,58	21,63	20,30	21,58
Tension-60 (V)	20,70	22,15	22,06	21,72	21,43	21,35	19,81	21,32
Tension-90 (V)	20,13	21,80	21,91	21,61	21,19	20,96	19,16	20,96
Puissance-15 (W)	6,77	76,43	86,23	91,00	79,54	63,28	12,88	59,45
Puissance-30 (W)	31,64	74,21	86,40	91,80	79,35	60,76	11,63	62,25
Puissance-60 (W)	7,39	54,97	71,70	85,19	62,82	43,53	6,57	47,45
Puissance-90 (W)	4,38	39,42	56,31	74,46	48,78	30,33	3,79	36,78
Vitesse de vent (m/s)	1,51	2,75	3,22	2,85	1,92	1,67	1,34	2,18
Rayonnement (W/m ²)	172,10	832,34	936,02	984,21	895,07	723,48	179,57	674,68

3) Les données du module polycristallin de 80w position fixe

Tableau IV. 5 : Les données mensuelles moyennes du module polycristallin SA-80 fixe

Moyenne mensuelle								
Horaires/Grandeurs	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15 (A)	0,27	2,47	3,20	3,97	2,75	1,71	0,25	2,09
Courant-30 (A)	0,25	2,42	3,19	4,01	2,73	1,74	0,22	2,08
Courant-60 (A)	0,22	2,19	2,92	3,76	2,54	2,14	0,20	1,99
Courant-90 (A)	0,18	1,68	2,45	3,26	2,17	1,26	0,16	1,60
Tension-15 (V)	20,91	22,68	22,55	22,20	21,85	21,77	19,78	21,67
Tension-30 (V)	20,90	22,54	22,54	22,19	21,84	21,71	19,81	21,65
Tension-60 (V)	20,70	22,52	22,44	22,08	21,76	21,53	19,66	21,53
Tension-90 (V)	20,37	22,28	22,25	21,95	21,59	21,31	19,41	21,31
Puissance-15 (W)	5,71	55,97	72,18	88,21	60,18	37,32	4,87	46,35
Puissance-30 (W)	5,15	54,60	71,93	89,00	59,60	37,70	4,44	46,06
Puissance-60 (W)	4,54	49,39	65,47	83,03	55,23	46,09	3,84	43,94
Puissance-90 (W)	3,63	37,49	54,57	71,57	46,92	26,87	3,12	34,88
Vitesse de vent (m/s)	1,51	2,75	3,22	2,85	1,92	1,67	1,34	2,18
Rayonnement (W/m ²)	172,10	832,34	936,02	984,21	895,07	723,48	179,57	674,68

Conclusion

En définitive, dans ce chapitre nous avons présenté tous les matériels que nous avons utilisés dans la réalisation de nos expériences et ensuite nous avons donné la description de la méthode extractive dans la récolte de données et la méthode que nous allons suivre dans le traitement de données.

Chapitre V : Résultats et discussions

Dans ce chapitre nous allons tracer, analyser et interpréter les résultats des courbes grâce aux données, que nous avons collectées au nouveau site laboratoire de physique de l'université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, sous l'environnement Excel, après on fera une comparaison avec les données de simulation sur le logiciel Matlab concernant les températures et rayonnements dans le but de prévoir l'aspect ou comportement d'un module photovoltaïque à travers la production courant-tension dans l'environnement de la ville de Maradi en particulier au nouveau site.

Introduction

L'efficacité d'un module photovoltaïque dans un lieu dépend de beaucoup de paramètres à savoir la technologie de module, les coordonnées géographiques (position) et solaire du lieu, l'orientation et l'inclinaison du module, les saisons, la durée d'ensoleillement, rayonnement solaire et la chaleur transportée par ce dernier, les données météorologiques (poussière, vent, nuages température de l'air etc.). La concordance de tous ces paramètres en un lieu donné du globe contribue de manière directe sur la caractéristique courant-tension ou simplement la puissance d'un panneau photovoltaïque. A latitude 13° Nord et longitude 7° Est la ville de Maradi est une région où le facteur température est élevé près de 45°C enregistré en avril 2019.

Nous nous intéressons à la chute de tension ou de puissance causée par la chaleur qu'un panneau photovoltaïque pourrait accumuler à sa surface, avant d'être dispersée soit par conduction entre les cellules solaires du panneau et les parois externes, ou par convection naturelle entre les parois externes et l'air environnant, mais ce système en quelque sorte de refroidissement nature s'avère inefficace lorsqu'on est dans les mois les plus chauds de l'année (Mars, Avril et Mai) où les températures extrêmes de l'air pouvant atteindre 45°C aux alentours de 12h à 15h, ce qui conduira inlassablement à la chute de tension produite par le module.

Même dans les autres mois dans cette zone la température varie aléatoirement ceci peut aussi influencer la production d'un module photovoltaïque.

Les interprétations des courbes que nous allons tracer, seront accompagnées avec certaines grandeurs mathématiques statistiques telles que le coefficient ou facteur de corrélation entre deux séries des données (température-rayonnement, température-tension, température-courant, température-puissance et température-vent) et l'écart-moyen à titre comparatif.

I. Organigramme de conversion-pertes des panneaux installés

Les panneaux PV reçoivent de l'énergie rayonnante globale qui sera absorbée par les composants des panneaux, une partie sera transformée en électricité (conversion photovoltaïque) du type courant continue, une autre partie sera dissipée par effet Joule donc sous forme de chaleur (conversion thermique) et la dernière partie sera l'énergie rayonnante perdue par réflexion.

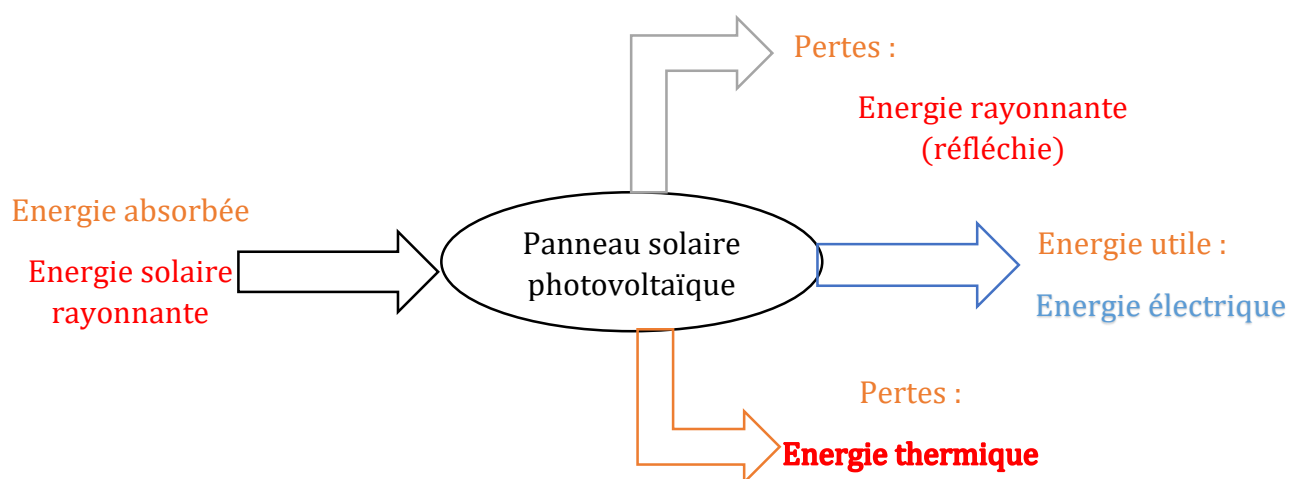


Figure V. 1 : Organigramme de conversion

1) Bilan énergétique

Energie rayonnante = Energie électrique + Energie thermique + Energie réfléchie (V.1)

II. Les panneaux installés



Figure V. 2 : Les différentes positions utilisées

III. Analyse des courbes température-rayonnement

1) Evolution de la température et rayonnement par jour

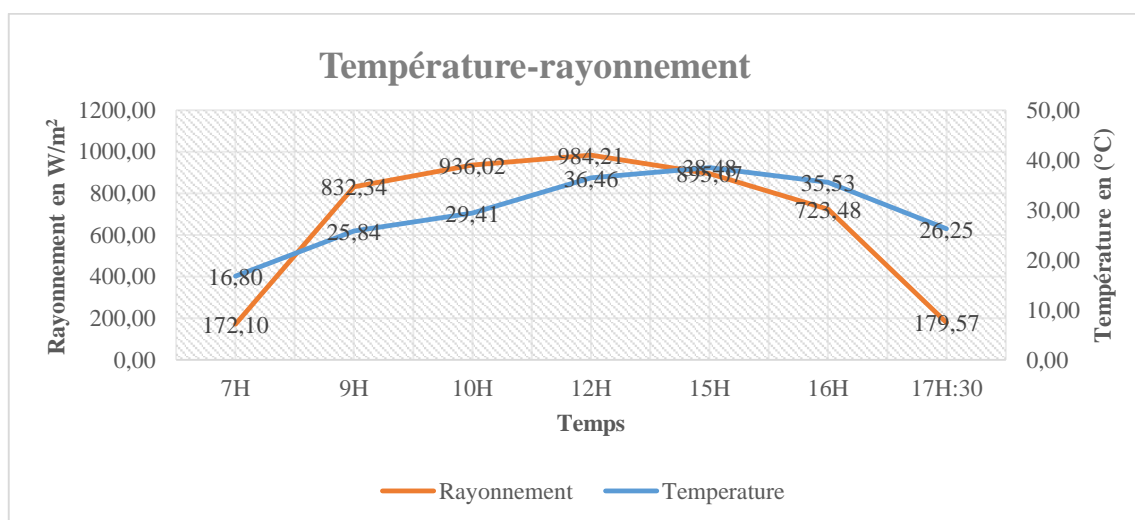


Figure V. 3 : Courbes journalières de l'évolution de température et de rayonnement

Avec des valeurs moyennes on remarque que jusqu'à midi (12H) les deux courbes ont approximativement la même allure. La température croît de 16.80°C à 36.46°C de 7H à 15H puis à partir de 15H, elle commence à baisser. Le rayonnement croît, quant à lui, de 172.1 W.m⁻² à 7H à 984. 21W.m⁻² à 12H puis décroît à partir de 12H. A partir de 16H la température et le rayonnement solaire diminuent considérablement.

A l'aide de logiciel Excel nous avons pu calculer le coefficient de corrélation de ces deux paramètres à travers le tableau (V.1). Un facteur de corrélation de 0.74 soit 74%, ce chiffre montre qu'il existe une dépendance entre ces deux grandeurs température et rayonnement, mais cette dépendance n'est pas forte, ceci peut s'expliquer du fait qu'il existe un intervalle de temps de 12H à 15H où la température et le rayonnement divergent, mais compte tenu des paramètres de dispersion et d'accumulation de la chaleur au sein même du module et des matériaux externes de la composition d'un panneau, on peut dire que la corrélation est bonne entre ces deux grandeurs donc le rayonnement transporte de chaleur.

Tableau V. 1 : Moyenne de températures et rayonnements

Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25
Rayonnement(W/m ²)	172,10	832,34	936,02	984,21	895,07	723,48	179,57

2) Courbes de température (12H et 15H) et rayonnement par mois

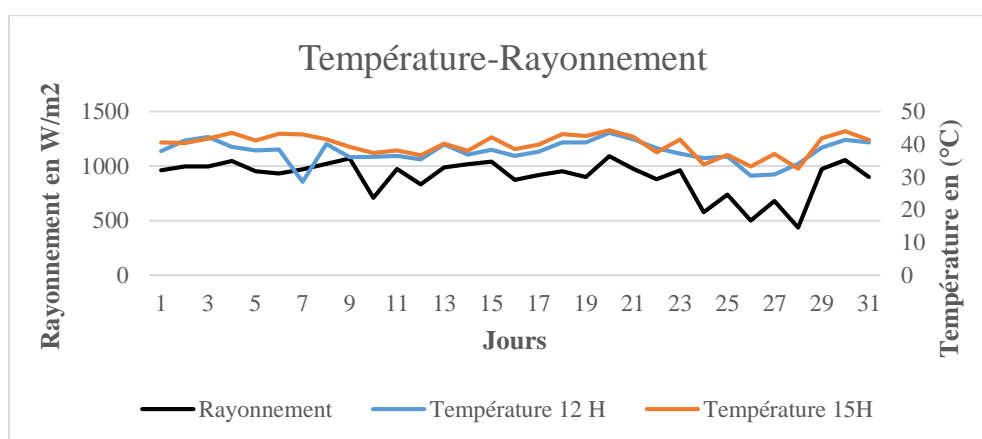


Figure V. 4 : Courbes mensuelles d'évolution des températures (12H&15H) et du rayonnement

Ces Graphes montrent l'évolution de température de 12H, 15H et de rayonnement durant un mois, Nous constatons qu'entre le premier et 4eme jour une augmentation de l'intensité du rayonnement, qui passe de 960W/m^2 à 1046W/m^2 de même à 15H l'évolution de température passe de 40.5 à 43.5°C tandis qu'à 12H les valeurs de températures entre les 4 jours varient de façon aléatoire. A partir du 5eme jour les températures de 12H et 15H et l'intensité de rayonnement globale progressent et régressent ensemble dans l'intervalle de [$832,2\text{W/m}^2$; 1089 W/m^2] jusqu'au 23eme jour et de 35.4°C à 43.5°C pour les températures de 12H et de 36.4°C à 44.3°C pour les températures de 15H, sauf qu'au 7eme jour on a disséqué une chute brutale de température à midi 28.5°C . De 24 au 28eme jour les rayonnements ont diminué et tombant dans la zone de [435 ; 738.5W/m^2], de même les températures de 12H et 15H sont aussi restées inférieures à 40.5°C . Durant les trois jours restants les deux paramètres ont grimpé avec 1054W/m^2 pour le rayonnement, 41.3°C à midi et 44°C à 15H pour les températures. Il est clair que la température et le rayonnement sont liés. Le facteur de corrélation température et rayonnement 15H calculé est 0.85 , soit 85% , ce qui prouve que la température et le rayonnement sont fortement corrélées. A midi très souvent la baisse de température enregistrée cas 28.5° du 7eme jours du mois est due au vent qui circulait, contribuant ainsi à la chute de température à midi.

3) La température dominante du mois

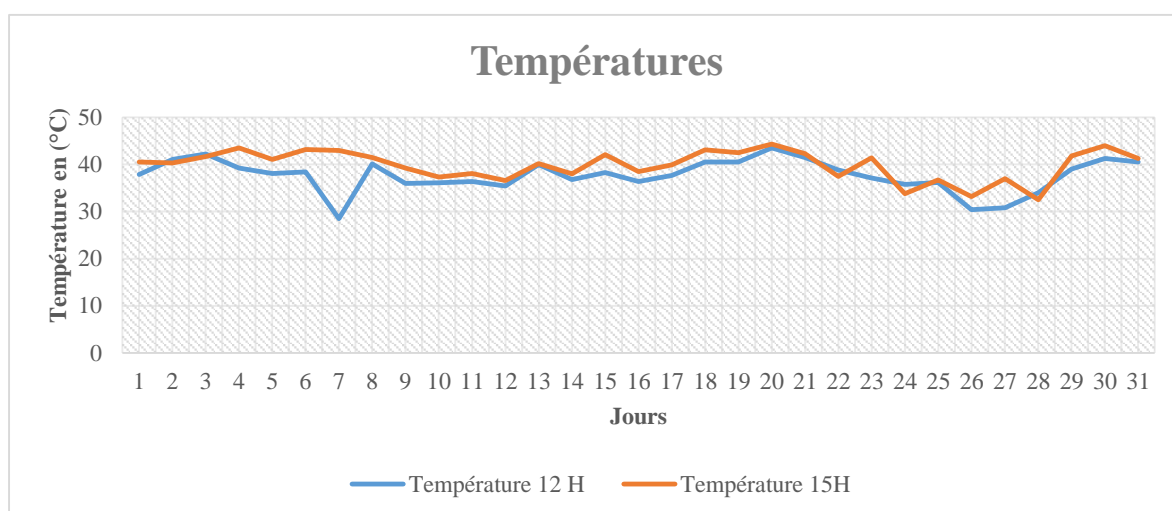


Figure V. 5 : Courbes des températures moyennes mensuelle

Durant les 31 jours, les températures du module à 15H restent nettement supérieures à celles de midi (12H) avec un écart-moyen de 2.74°C, Cela s'explique par la cumulation de la chaleur au sein du module entre 12H et 15H.

4) L'influence du vent sur la température du module

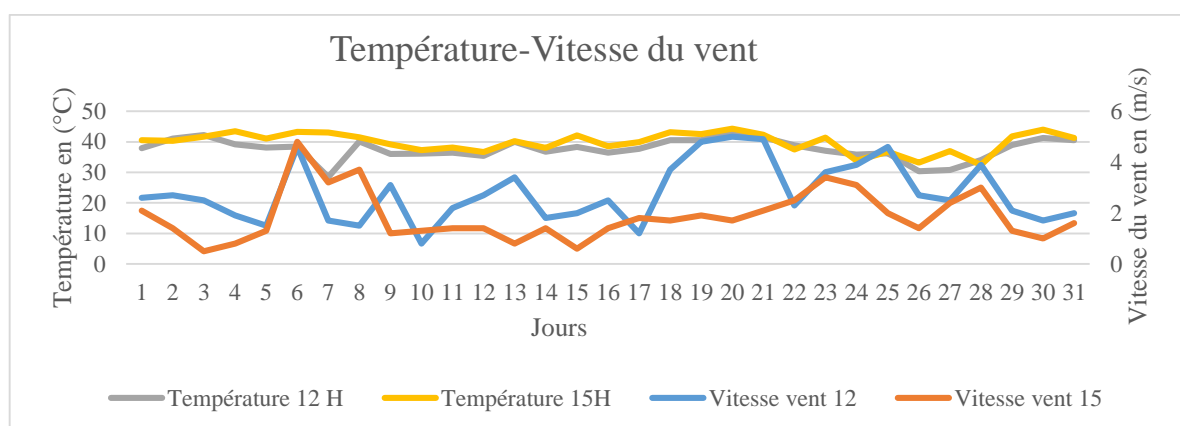


Figure V. 6 : L'influence du vent sur la température du module

Ces courbes montrent que si la vitesse du vent augmente une légère chute de température apparaît et si la vitesse du vent diminue on observe une petite augmentation de température. Ce phénomène est remarquable pour les deux températures du panneau PV, notamment celles de midi et celles de 15H, sauf dans le cas de 13^{ème} et 23^{ème} jour où on a un phénomène différent. Les fluctuations du vent observées sur le graphe sont dues à l'irrégularité de l'arrivée du vent sur la face arrière et la face supérieure où elle est exposée au rayonnement. Cet échange de chaleur se fait par convection d'où la ventilation naturelle.

IV. Exploitation des courbes température-tension du modèle SA-80 polycristallin l'orientation variable

1) Température-Tension du Modèle SA-80

a) Température Tension 15°

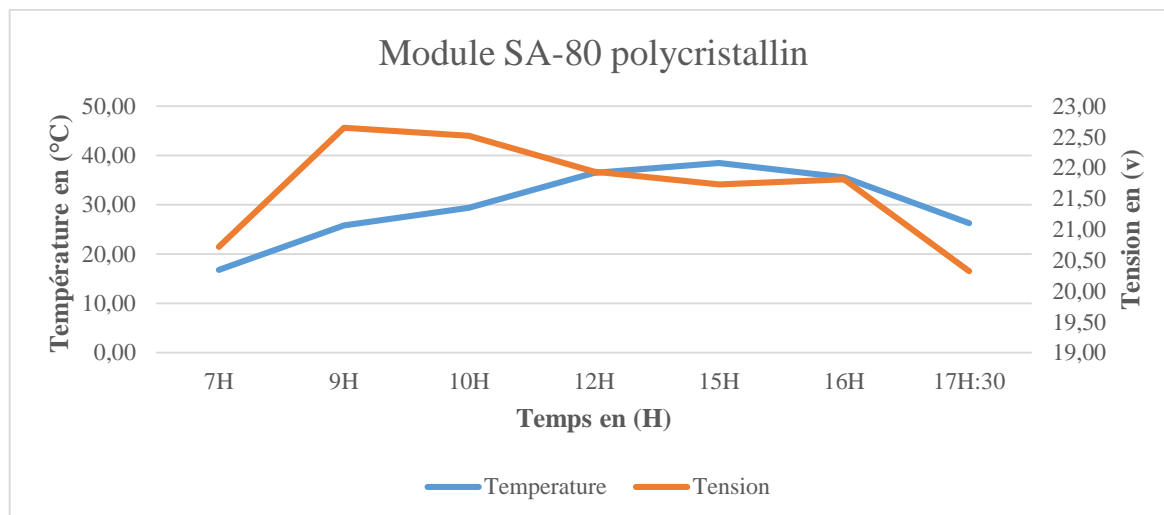


Figure V. 7 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 15°

Jusqu'à 9H la température et la tension du module SA-80 progressent où elles prennent des valeurs respectives 25.84°C et 22.65volts. De 9H à 17H 30nm on constate une chute de tension de 22.65volts à 20.32volts et la température croît de 15H à 38.48°C entre 7H et 15H puis diminue à partir de 15H pour atteindre 25°C à 17H 30nm. Pendant cette même période (7H à 17H30mn), la tension atteint sa valeur maximale qui est de 22.5volts à 9H puis commence à diminuer jusqu'à 20.5volts à 17H30mn. Ces données montrent que la chute de tension est débitée dès 9H et durant tout le reste du temps d'ensoleillement.

b) Température Tension 30°

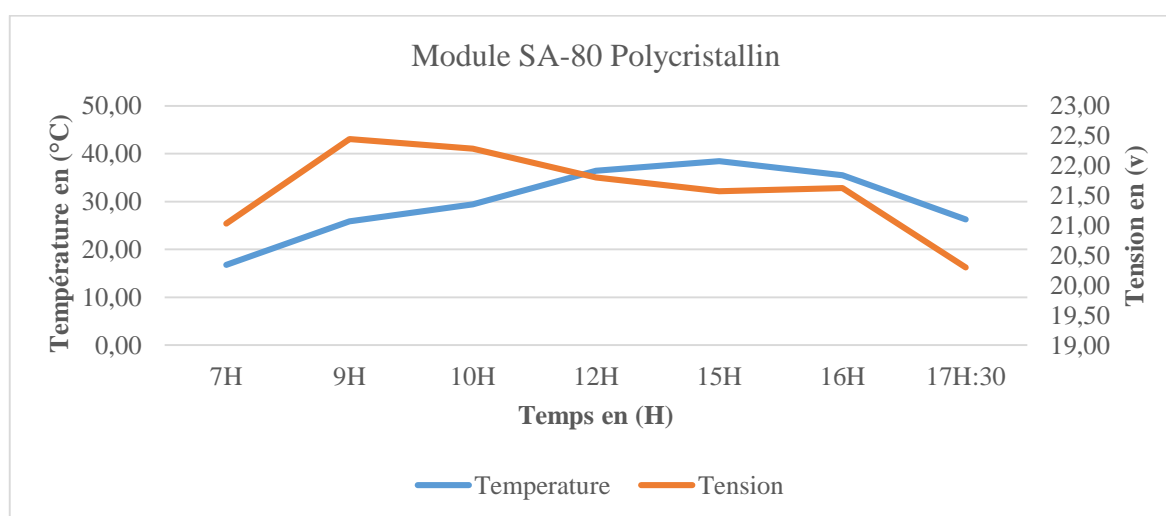


Figure V. 8 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 30°

Incliné à 30° en direction du soleil, le module photovoltaïque SA-80 installé produit la tension qui évolue de 21.03 à 22.45volts entre 7H et 9H, de même la température passe de 16.80 à 25.84°C à la surface du module. A partir de 10H on constate une chute de tension à 22.28volts tandis que la température monte à 36.46°C. Entre 10H et 17H:30mn, la tension continue à chuter où elle passe à 20.30volts tandis que la température a évolué entre 10H et 15H où elle atteint son seuil de 38.48°C, puis a baissé jusqu'à 26.25°C de 15H à 17H:30mn.

La baisse de tension observée entre 10H et 16H est due à l'augmentation et accumulation de la chaleur à la surface du module tandis que la chute de tension entre 16H et 17H : 30mn provient de la faible intensité du rayonnement. Avec un coefficient de corrélation de 0.29, on peut dire que sous l'inclinaison 30° la température du module et la tension produite sont faiblement liées.

c) Température Tension 60°

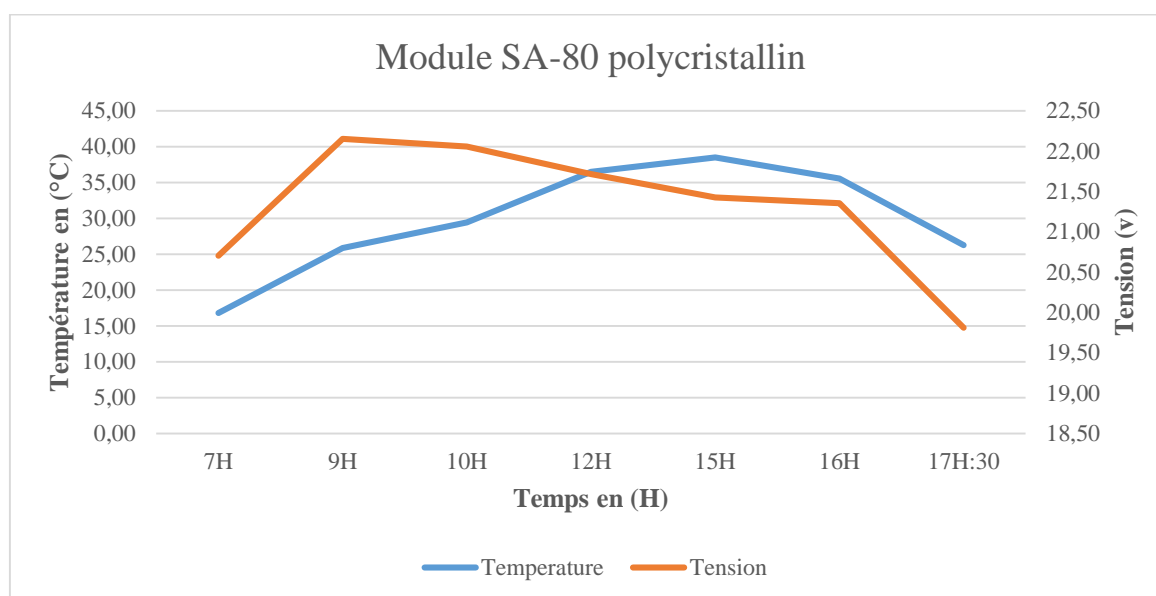


Figure V. 9 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 60°

Avec l'inclinaison du module à 60° et en direction du soleil, le comportement du module SA-80 est presque similaire à celui du 30° sauf qu'avec la même température 16.80°C à 7H le module produit 20.70volts, à 15H où on a le pique de température 38.48°C le module donne 21.43volts et à 17H 30mn on a une baisse de température à 26.25°C avec une production de 19.81volts. Le facteur de corrélation de ce système est 0.36 ce qui veut dire, la température et tension produite par ce module ont tendance à être dépendantes en fonction de l'angle.

d) Température Tension 90°

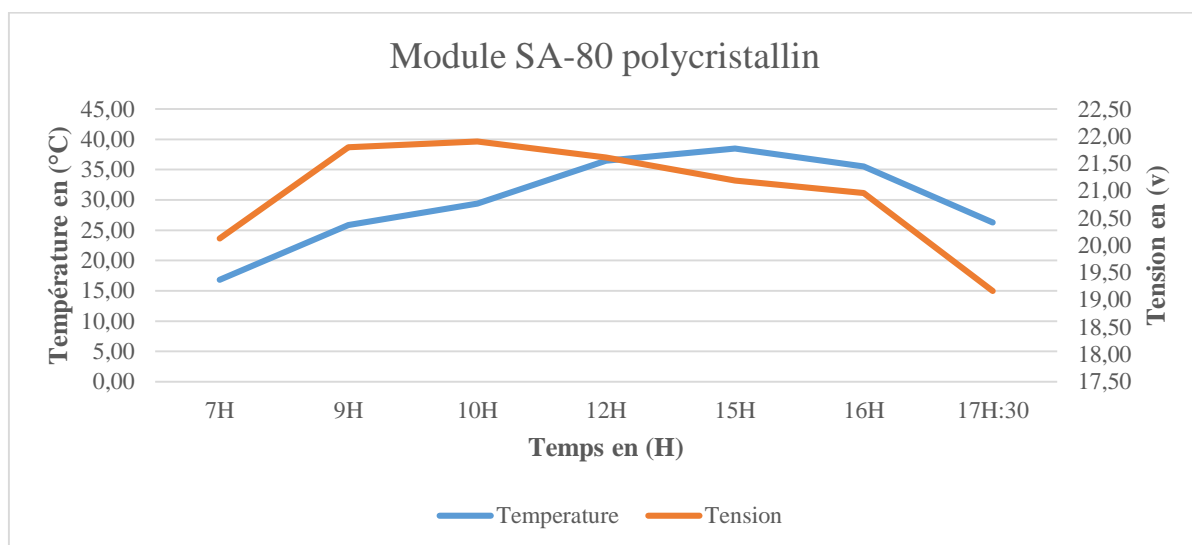


Figure V. 10 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 90°

Pour la position d'angle 90°, On remarque une chute de tension considérable inférieure à 22volts de 7H à 17H 30. La chute de tension observée durant toute la journée avec cette position est due non seulement à cause de la température mais aussi grâce à la position de la face réceptrice des rayonnements solaires. Le coefficient de corrélation est de 0.44, soit 44%, comparativement aux autres systèmes la dépendance entre ces deux grandeurs est importante d'où cette position est la position qui entraîne beaucoup plus de perte de tension soit lié à la chaleur ou aux arrivés des rayonnements.

2) Température –Courant du modèle SA-80

a) Température Courant 15°

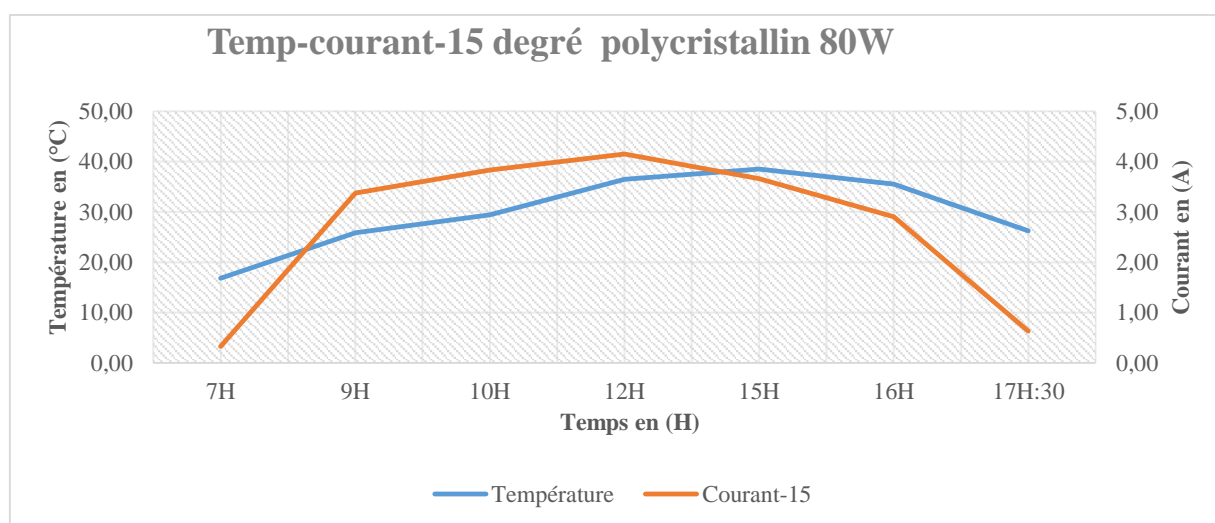


Figure V. 11 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 15°

Les deux courbes température courant du module SA-80 placé sous l'orientation du soleil à un angle de 15° montrent que la température du module et le courant ainsi produit évoluent ensemble tout au long de la journée. A 7H avec une température de 16.80°C , le courant est de 0.33A , à 12H sous 38.46°C le courant est maximal avec une valeur de 4.15A , et à 17H 30 la température a baissé avec la valeur 26.25°C et le courant chute à 0.63A . Le coefficient de corrélation de 0.76 soit 76% , ce pourcentage montre qu'il y a une dépendance entre le courant produit par module et la température à sa surface. Donc le courant produit augmente avec la température du module.

b) Température Courant 30°

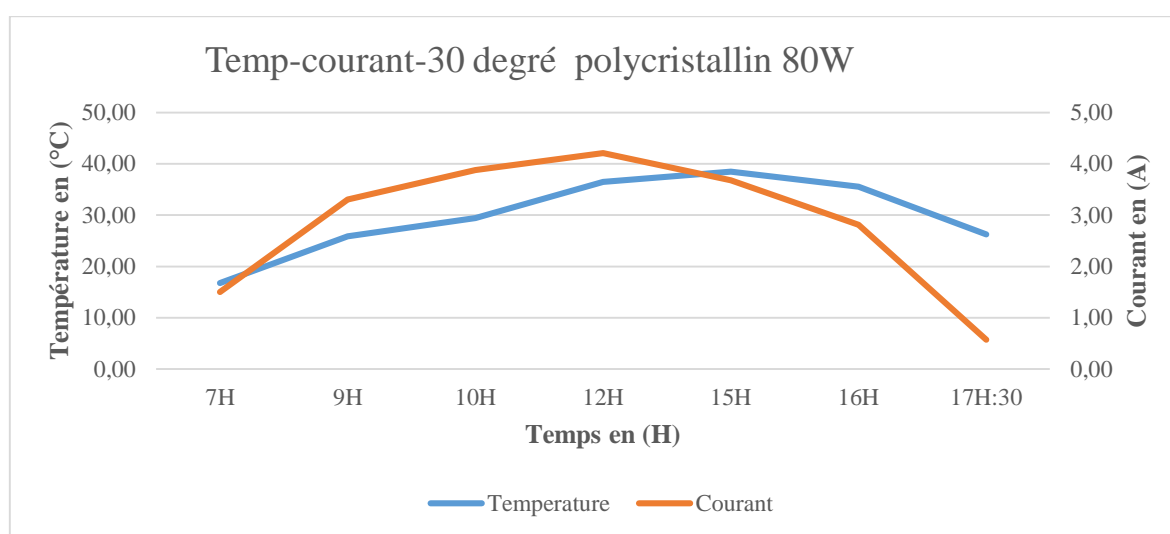


Figure V. 12 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 30°

A cet angle de 30° la température du module et l'intensité du courant produite par ce dernier progressent ensemble, où le courant de court-circuit atteint son point culminant de 4.21A à 12H avec 36.46°C et la température poursuit sa montée jusqu'au seuil de 38.48°C avec un courant de 3.68A . Après 15H le courant produit et la température chute avec des valeurs 2.81A et 26.25°C à 17H 30mn. Avec un coefficient de corrélation de 0.64 , on peut dire que les deux grandeurs sont faiblement liées par rapport à la position 15° .

c) Température Courant 60°

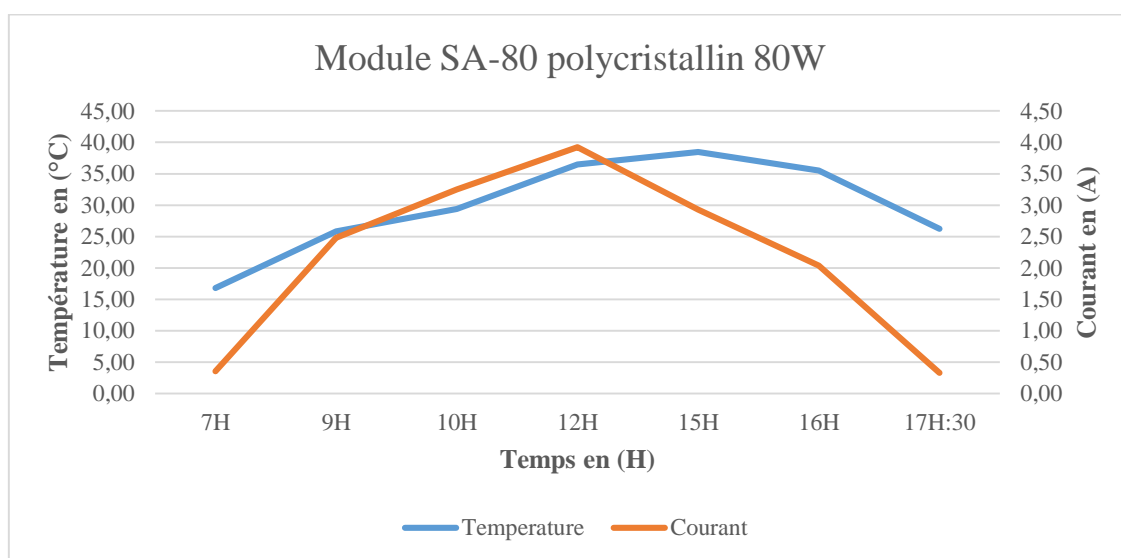


Figure V. 13 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 60°

Monté sous un angle de 60° en direction du soleil entre 7H et 12H avec température de 16.80°C et 36.46°C, le module photovoltaïque SA-80 produit un courant qui croit de 0.36A à 3.92A, valeur seuil. Après-midi le courant décroît jusqu'au 0.33A avec une température de 26.25°C à 7H 30mn. Ces deux courbes du courant et de température évoluent ensemble. Avec un facteur de corrélation de 0.73, la corrélation entre le courant et la température est presque bonne.

d) Température Courant 90°

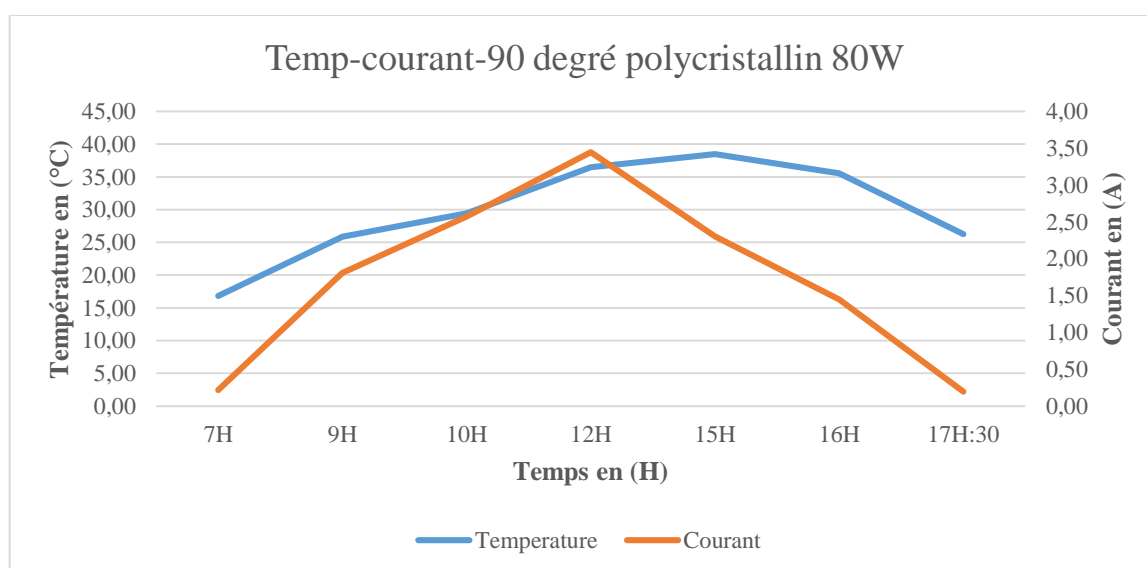


Figure V. 14 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 90°

A 90° d'inclinaison, la courbe du courant produit par le module photovoltaïque montre la linéarité croissante entre 7H et 12H avec des valeurs respectives 0.22A à 3.45A sous températures 16.80 à 36.46°C, et décroissante de 12H à 17H 30mn avec des valeurs respectives de 3.45A à 0.20A sous températures 36.46 à 26.25°C. Le coefficient de corrélation de 0.71 justifie une relation entre les deux grandeurs.

3) Température puissance du modèle SA-80

a) Température Puissance 15°

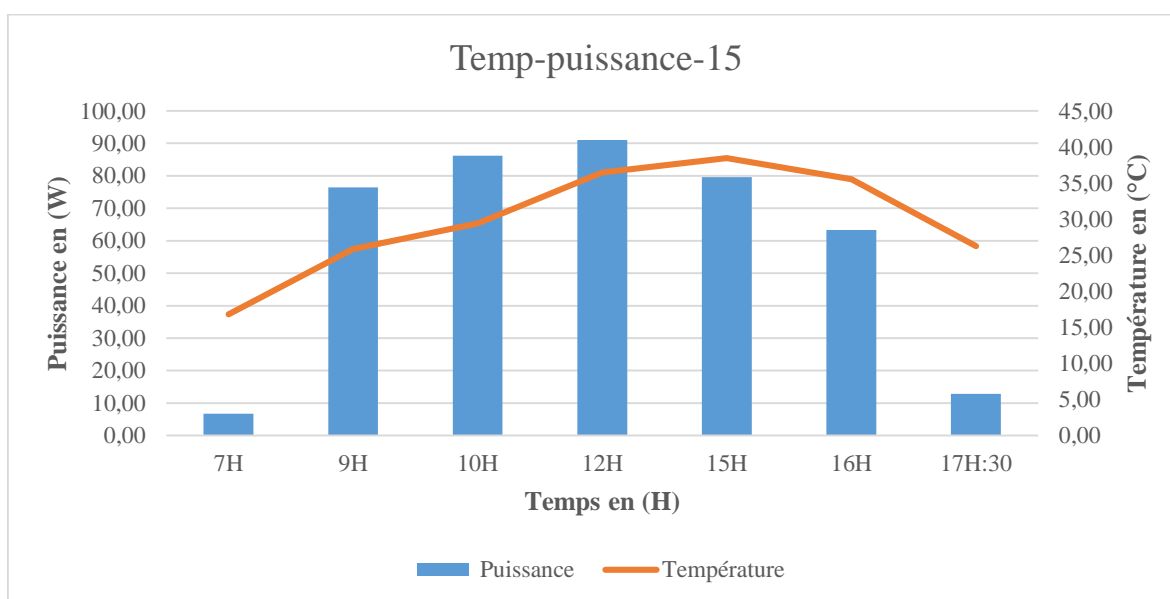


Figure V. 15 : Courbe température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 15°

Orienté sous l'angle 15° le module photovoltaïque SA-80 fournit jusqu'à 91W puissance de pointe à 12H. Entre 12H et 15H on observe une chute de puissance à 79.54W, soit une perte de 1.46W autour de la moyenne qui est de 80W et une perte de 11.46W sur son fonctionnement à midi. Les panneaux photovoltaïques placés sous cette position produisent une grande puissance. La chute de tension observée entre 12H et 15H est due à l'augmentation de la température de 36.46 à 38.48°C, soit une augmentation de 2.2°C.

b) Température Puissance 30°

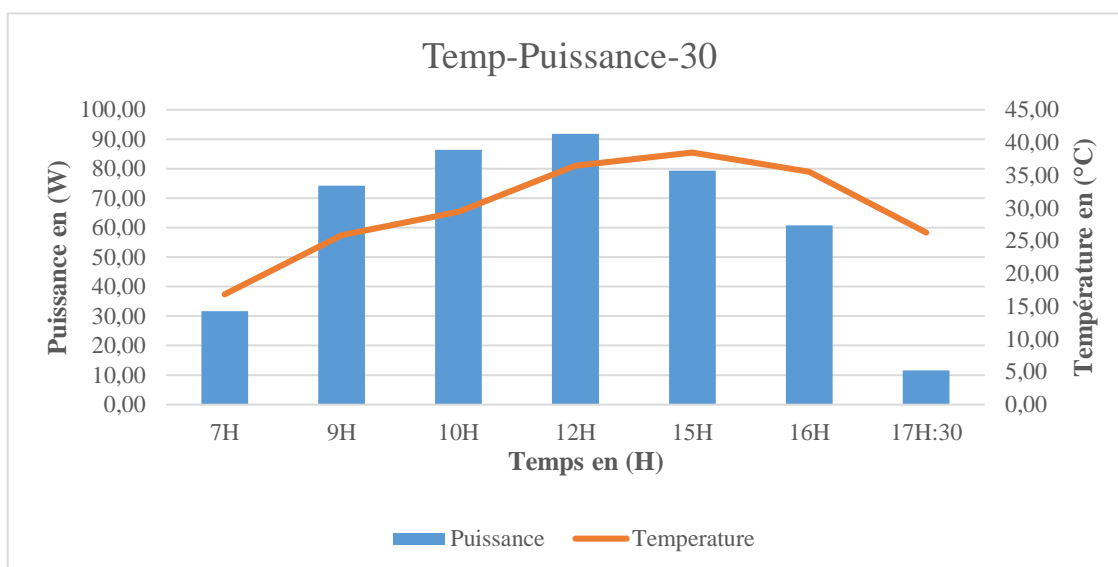


Figure V. 16 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 30°

Avec 30° comme angle d'inclinaison, le module fournit une puissance de 91.80W à midi comme puissance maximale sous la température de 36.46°C, de même la baisse de puissance est remarquée entre 12H et 15H où elle descend à 79.35W sous la température maximale de 38.48°C, soit une perte de 12.45W et 0.65W à la moyenne. Cette chute de puissance se poursuit jusqu'à 17H 30 (12.88W) due à un faible rayonnement.

c) Température Puissance 60°

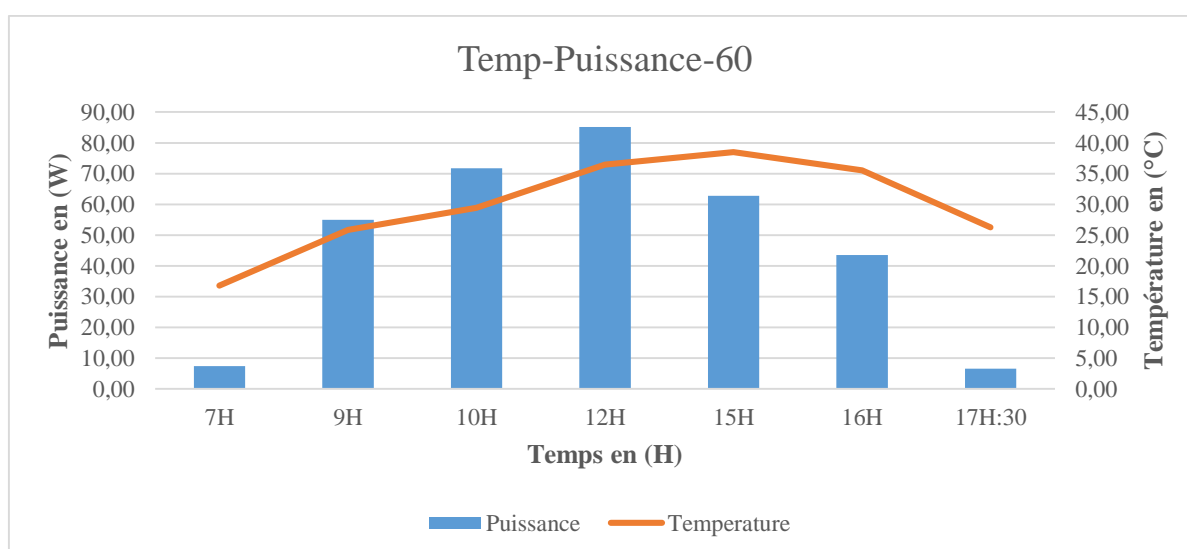


Figure V. 17 : Courbe température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 60°

Incliné à 60°, le module photovoltaïque SA-80 fournit de 7H à 12H une puissance de 7.39 à 85.19W la puissance crête avec une évolution progressive de température de 16.80 à 36.46°C, et puis jusqu'à 38.48°C à 15H où on observe une baisse de la puissance à 62.82W. A partir de 15H la température diminue de même que la puissance. Un écart de 22.39W est observé qui représente la puissance perdue et un écart de 17.18W à la moyenne de 80W soit donc une perte moyenne de 17.18W.

d) Température Puissance 90°

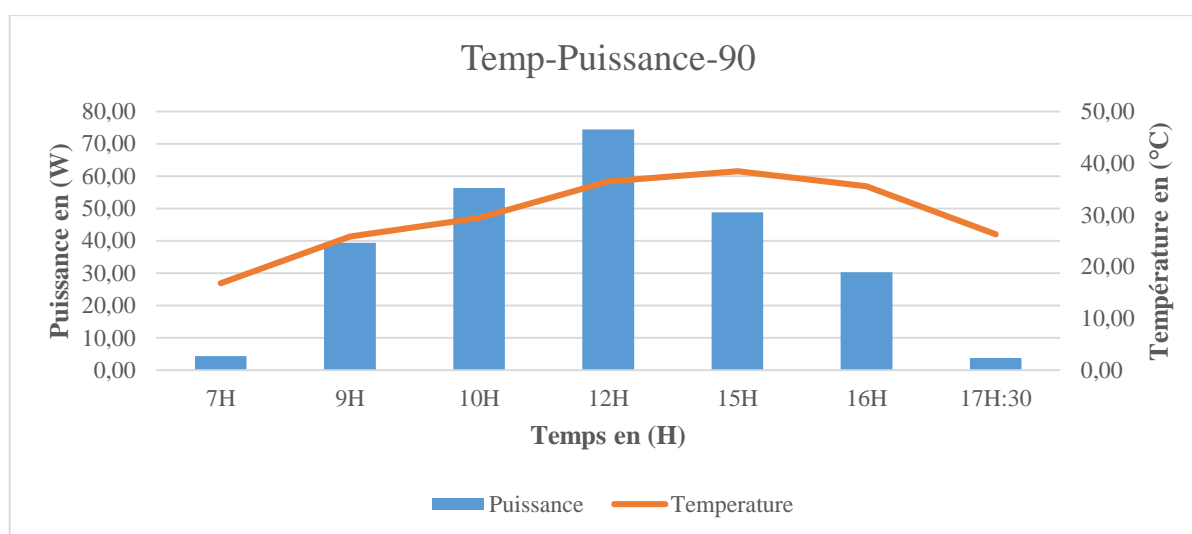


Figure V. 18 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 90°

A 90° même à midi la puissance du module n'atteint pas 80W, soit une puissance de 74.46W à 12H sous 36.46°C et de 48.78W à 15H sous 38.48°C. Donc la perte générée est de 25.68W et une perte de 31.22W à la moyenne de 80W. Cette perte de puissance est due non seulement à la position de la face réceptrice qui reçoit des rayonnements verticaux, transférant directement la totalité de l'énergie et les modules se retrouvant en surchauffe mais aussi avec un faible échange de chaleur entre l'air environnant et les parois des panneaux.

3. Evolution de la tension en fonction de tous les paramètres du module SA-80

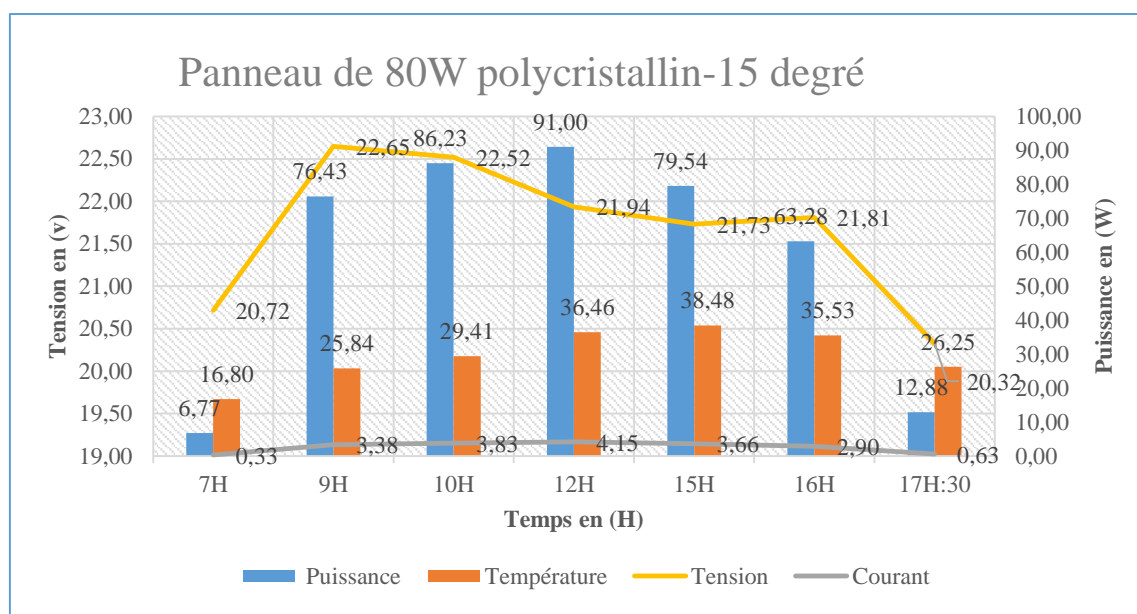


Figure V. 19 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 15°

La figure V. 19 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 15° dans une orientation en direction du soleil au cours de la journée.

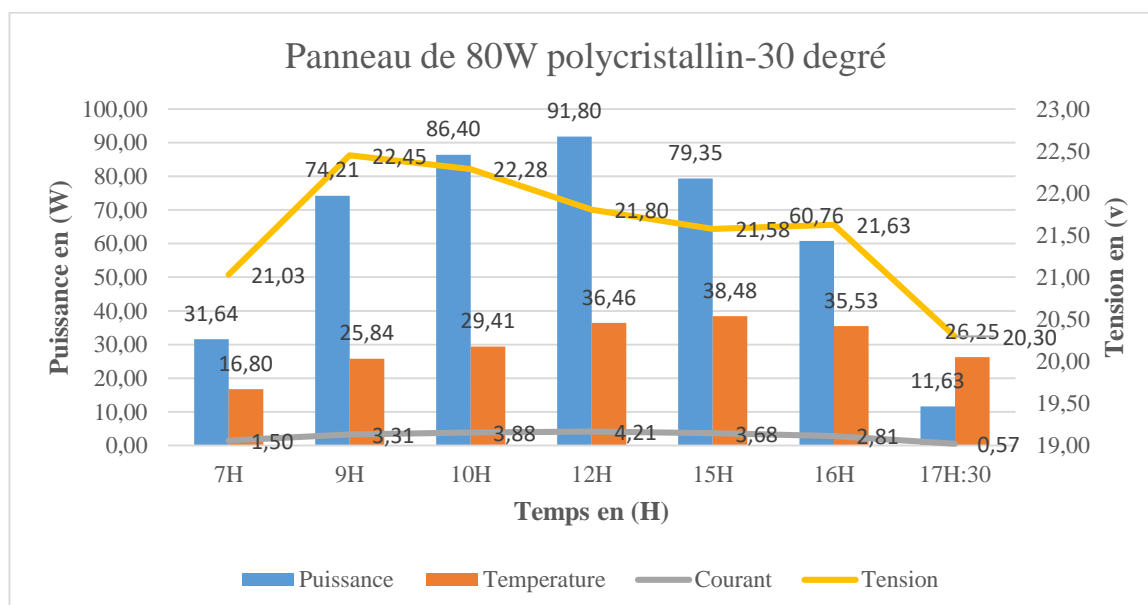


Figure V. 20 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 30°

La figure V. 20 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 30° dans une orientation en direction du soleil au cours de la journée.

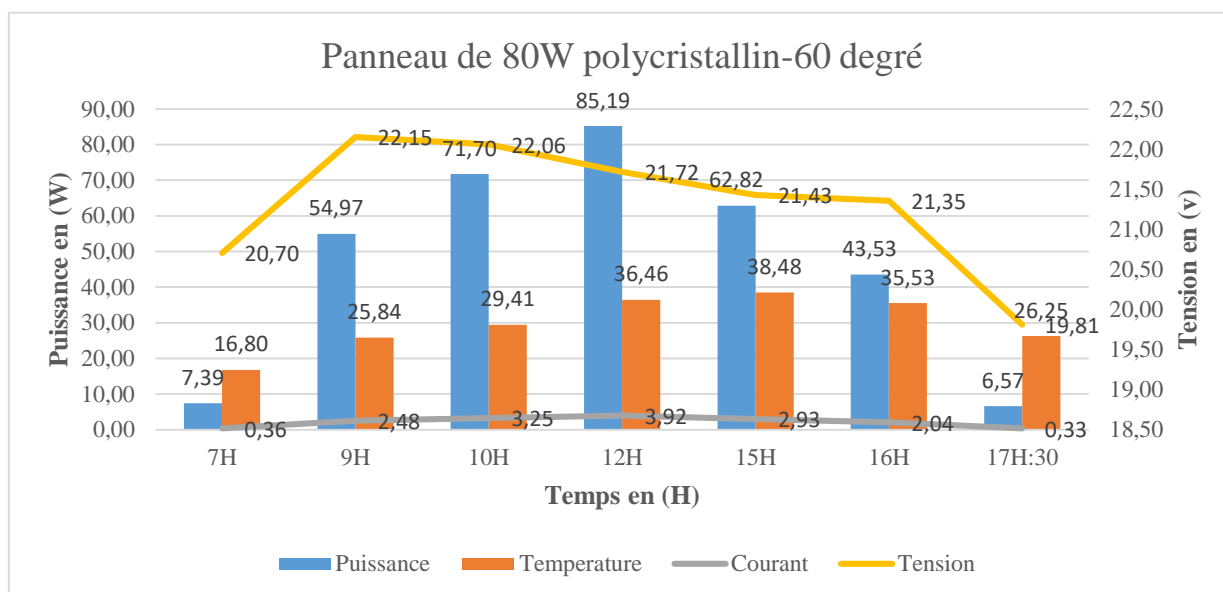


Figure V. 21 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 60°

La figure V. 21 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 60° dans une orientation en direction du soleil au cours de la journée.

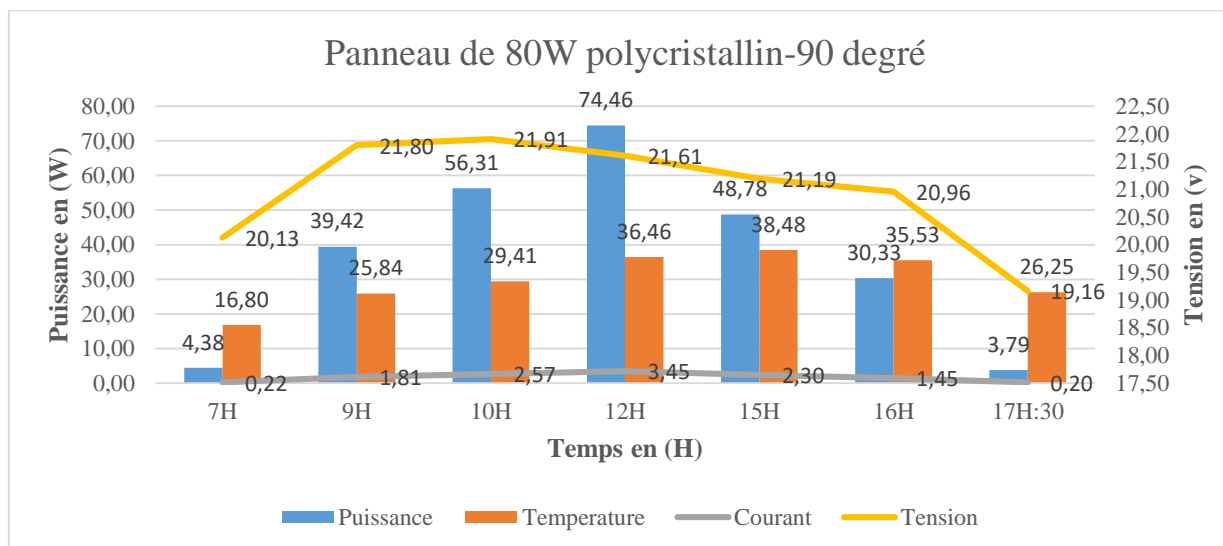


Figure V. 22 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 90°

La figure V.22 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 90° dans une orientation en direction du soleil au cours de la journée.

4) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température

a) La tension dominante

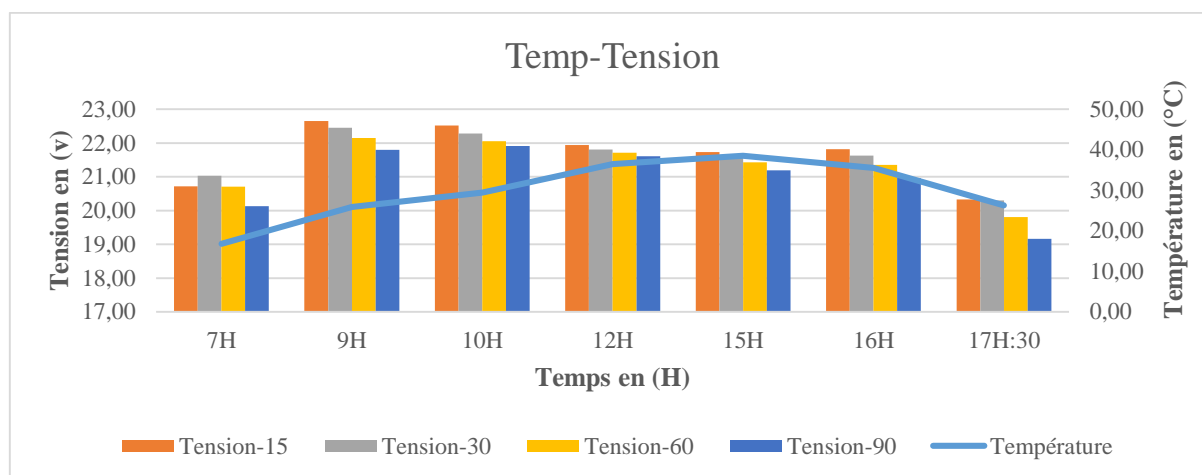


Figure V. 23 : Diagrammes de tension et courbe de température

A travers la figure V.23 et le tableau V. 2 ci-dessous la tension dominante dans la journée est celle produite par le module sous l'inclinaison 15° avec valeur moyenne de 21.67volts sous la température moyenne de 29.82°C .

Tableau V. 2 : Moyenne de température et des tensions du module SA-80

Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Tension-15 (v)	20,72	22,65	22,52	21,94	21,73	21,81	20,32	21,67
Tension-30 (v)	21,03	22,45	22,28	21,80	21,58	21,63	20,30	21,58
Tension-60 (v)	20,70	22,15	22,06	21,72	21,43	21,35	19,81	21,32
Tension-90 (v)	20,13	21,80	21,91	21,61	21,19	20,96	19,16	20,96

b) Le courant dominant

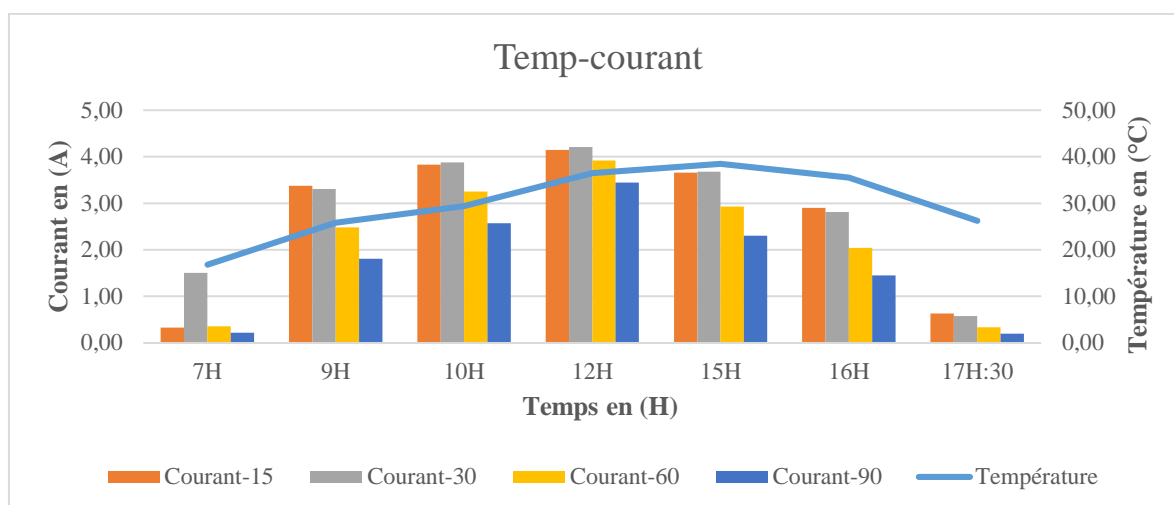


Figure V. 24 : Diagrammes de courant et courbe de température

La figure V. 24 et le tableau V. 3 ci-dessous montrent que le courant dominant dans la journée est celui produit par le module sous l'inclinaison 30° avec valeur moyenne de 2.85A sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 3 : Moyenne de température et des courants du module SA-80

Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15 (A)	0,33	3,38	3,83	4,15	3,66	2,90	0,63	2,70
Courant-30 (A)	1,50	3,31	3,88	4,21	3,68	2,81	0,57	2,85
Courant-60 (A)	0,36	2,48	3,25	3,92	2,93	2,04	0,33	2,19
Courant-90 (A)	0,22	1,81	2,57	3,45	2,30	1,45	0,20	1,71

c) La puissance dominante

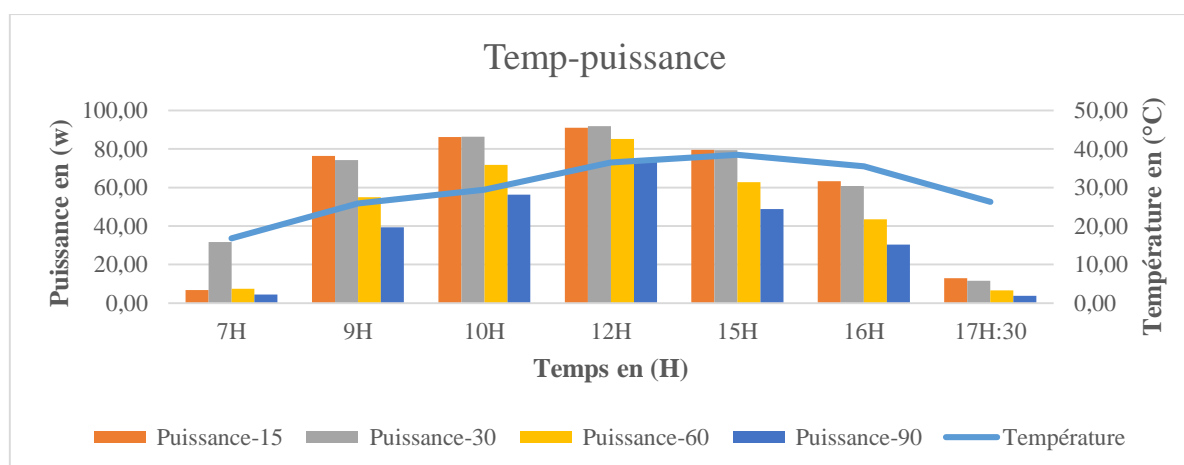


Figure V. 25 : Diagrammes de puissance et courbe de température

Grâce à la figure V. 25 et le tableau V. 4 ci-dessous la puissance dominante dans la journée est celle fournie par le module sous l'inclinaison 30° avec valeur moyenne de 62.25W sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 4 : Moyenne de température et des puissances du module SA-80

Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Puissance-15 (W)	6,77	76,43	86,23	91,00	79,54	63,28	12,88	59,45
Puissance-30 (W)	31,64	74,21	86,40	91,80	79,35	60,76	11,63	62,25
Puissance-60 (W)	7,39	54,97	71,70	85,19	62,82	43,53	6,57	47,45
Puissance-90 (W)	4,38	39,42	56,31	74,46	48,78	30,33	3,79	36,78

V. Exploitation des courbes température-tension du modèle SA-80 polycristallin position fixe sud-est

1) Température-Tension du modèle SA-80 fixe

a) Température Tension 15°

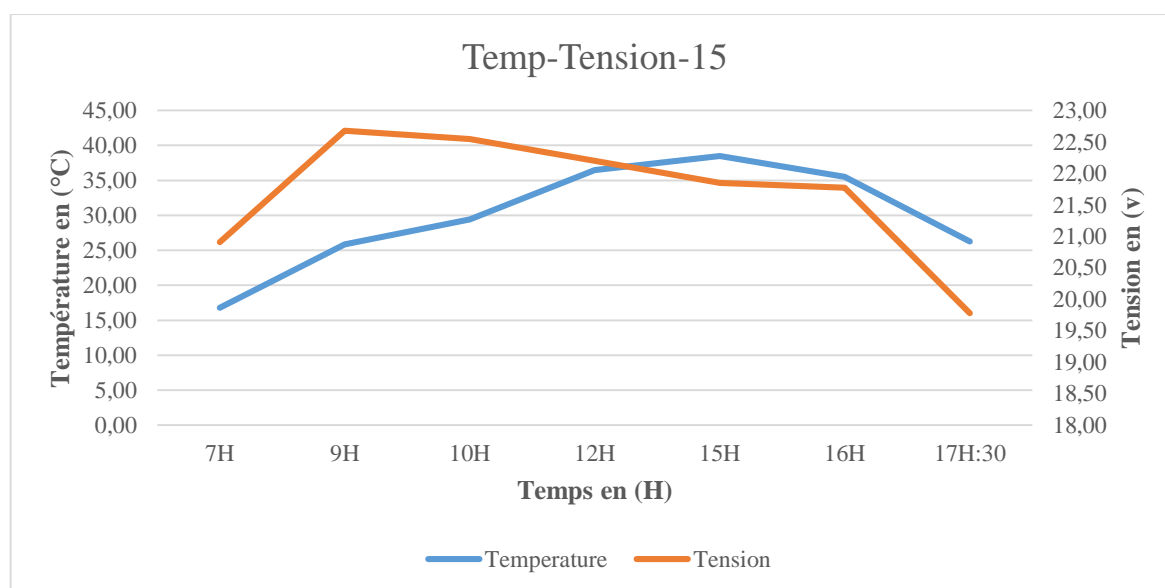


Figure V. 26 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 15° fixe

En position fixe sud-est et sous l'inclinaison 15°, le module SA-80 produit plus de tension jusqu'à 22.68volts à 9H avec la température de 25.84°C, et à partir de 9H produit une chute de tension qui se tend jusqu'à 17H 30 avec 19.78volts sous 26.25°C. La baisse de température ainsi remarquée de 9H à 15H est due à la montée progressive de température et de 16H à 17H 30mn la chute de tension survient suite à la baisse de rayonnement.

b) Température Tension 30°

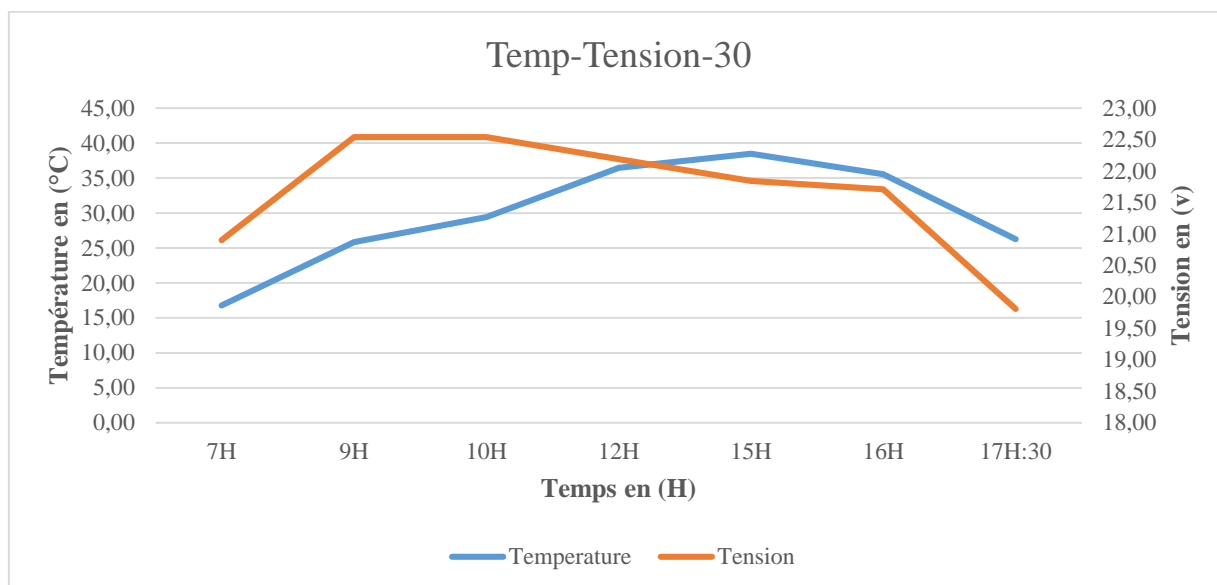


Figure V. 27 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 30° fixe

Avec l'orientation sud-est fixe et sous 30°, le module photovoltaïque produit une tension inférieure à celui de 15°, soit 22.54volts à 9H la maximale sous 25.84°C. A partir de 9H le comportement du module est similaire à celui de 15° présentant de même la chute de tension.

c) Température Tension 60°

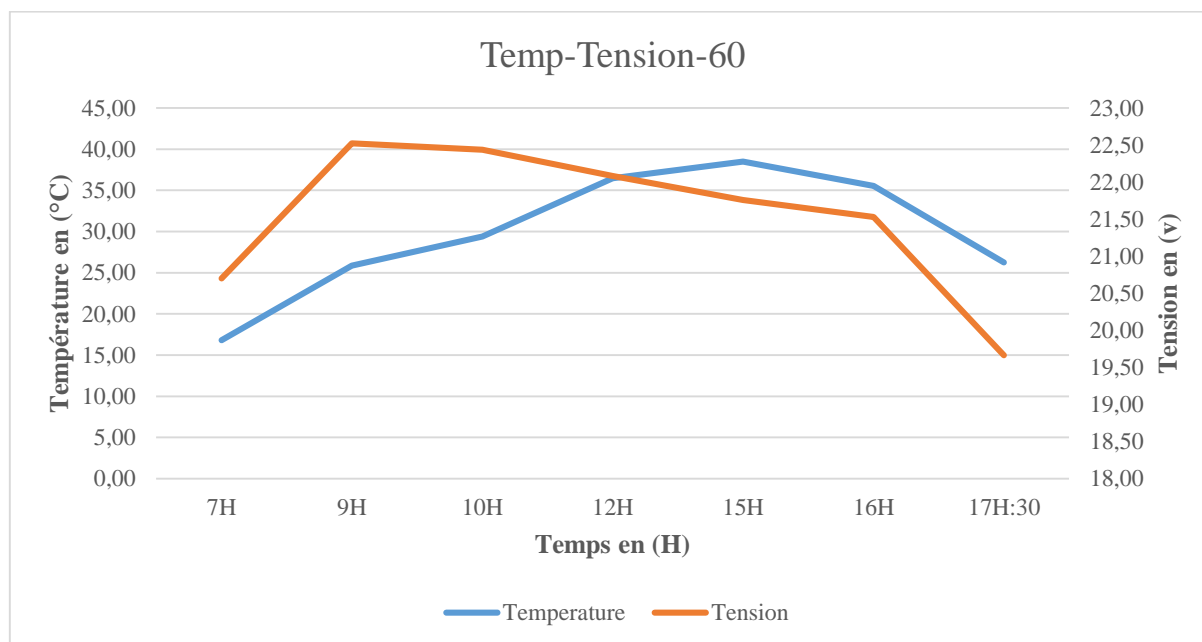


Figure V. 28 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 60° fixe

Le module incliné sous 60° en direction sud-est fixe présente un comportement similaire à celui des positions précédentes mais avec une production de tension faible comparativement à la position 15 et 30°. Avec la moyenne de tension journalière de 21.53volts contre 21.67 et 21.65 sous 15 et 30° sous 29.82°C.

d) Température Tension 90°

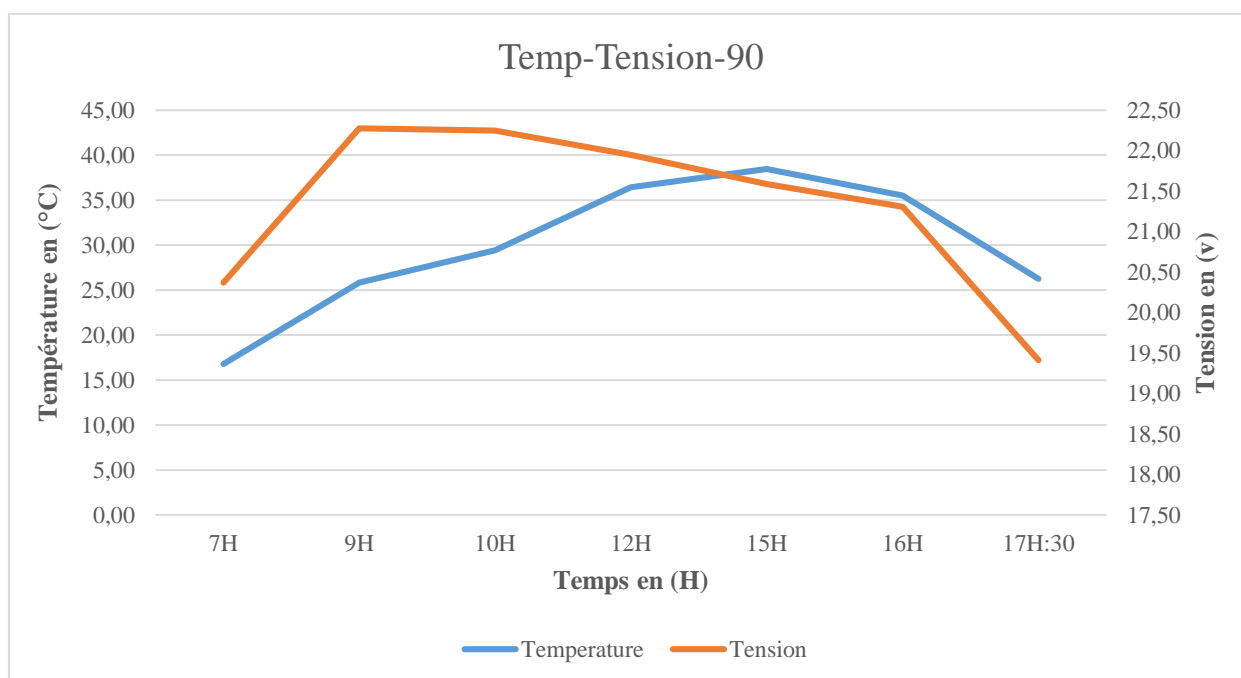


Figure V. 29 : Courbes température-tension du module SA-80 sous 90° fixe

Avec l'orientation sud-est fixe et placé à l'inclinaison 90° de 7H à 9H la tension et la température du module évoluent ensemble où ils atteignent respectivement 22.28volts et 25.84°C. De 9H à 16H une importante chute de tension est observée avec un comportement linéaire tandis que la température a monté près de 38.5°C à 15H et une légère chute entre 15H et 16H puis une chute brutale entre 16H et 17H 30. Suite à la linéarité de la tension entre 9H et 16H, une proportionnalité de tension et température est aussi remarquée en certains points. Donc dans l'ensemble sous cette inclinaison de 90°, la tension est presque proportionnelle à la température de 9H à 16H comme indique le tableau 5.18 ci-dessous.

Tableau V. 5 : Moyenne de température et tension du module SA-80 sous 90° fixe

90 degré								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Tension (v)	20,37	22,28	22,25	21,95	21,59	21,31	19,41	21,31
Proportionnalité	0,8	1,2	1,3	1,7	1,8	1,7	1,4	1,4

Cette dépendance entre tension et la température a fait en sorte que la tension moyenne journalière produite par ce module du type SA-80 qui est de 21.31 volts paraît la plus faible de toutes les positions enregistrées.

2) Température – Courant du modèle SA-80 fixe

a) Température Courant 15°

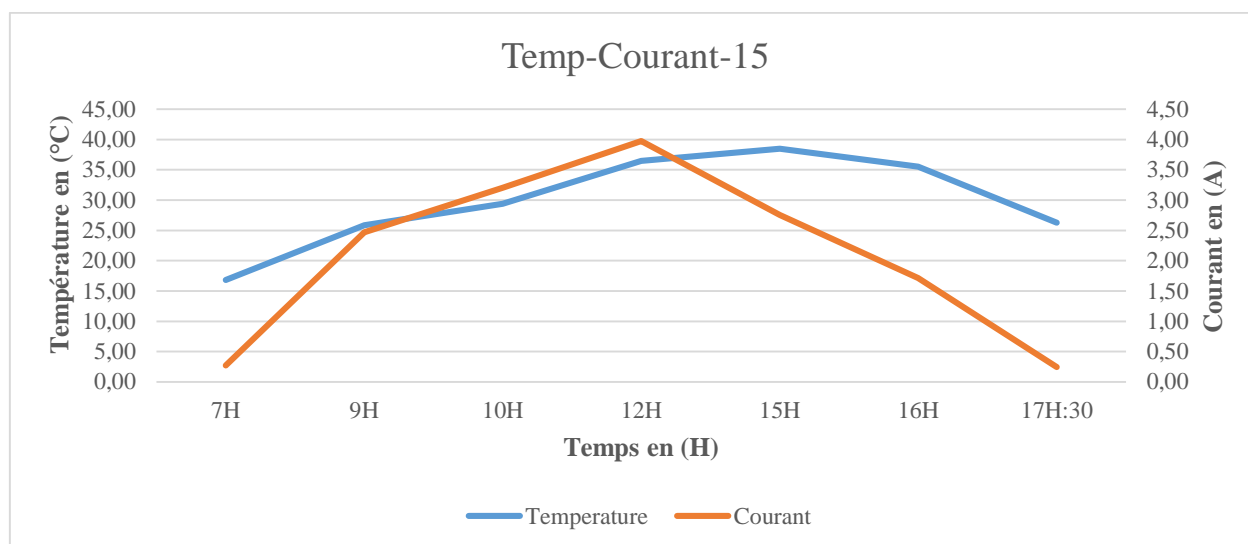


Figure V. 30 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 15° fixe

Jusqu'à 12H les deux grandeurs évoluent ensemble présentant un maximum du courant de 3.97A sous une température de 36.46°C, la température évolue jusqu'à 15H avec la valeur maximale de 38.48°C et le courant chute à 2.75A. A partir 15H les deux grandeurs continuent à chuter. Le courant produit moyennement par jour est de 2.09A sous une température moyenne de 29.82°C.

b) Température Courant 30°

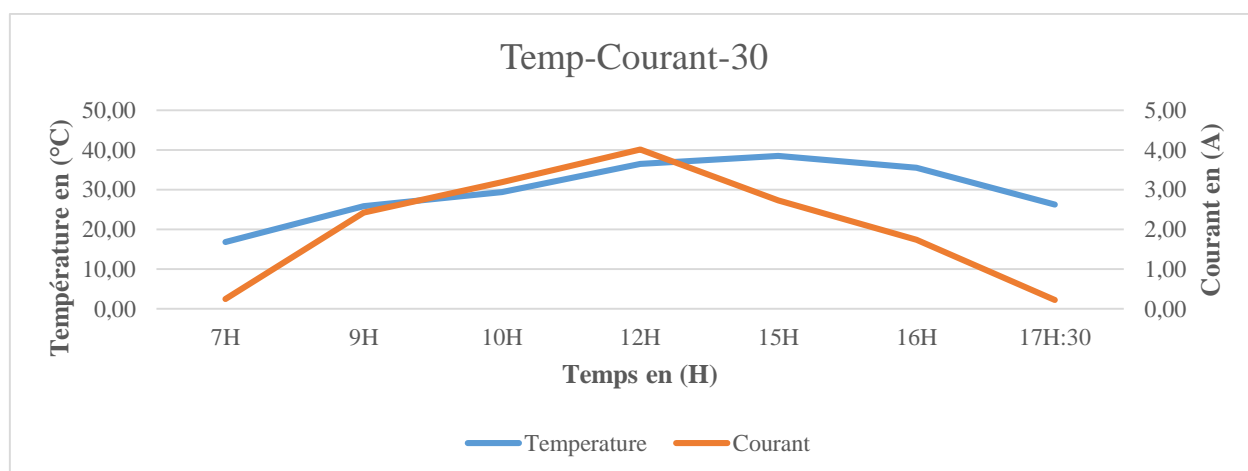


Figure V. 31 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 30° fixe

Similaire aux deux courbes enregistrées à l'inclinaison 15°, avec cette position de 30° le module SA-80 Fixe produit en moyenne par jour un courant de 2.08A sous une température moyenne de 29. 82°C. Donc les deux positions de module montrent qu'une faible variation du courant.

c) Température Courant 60°

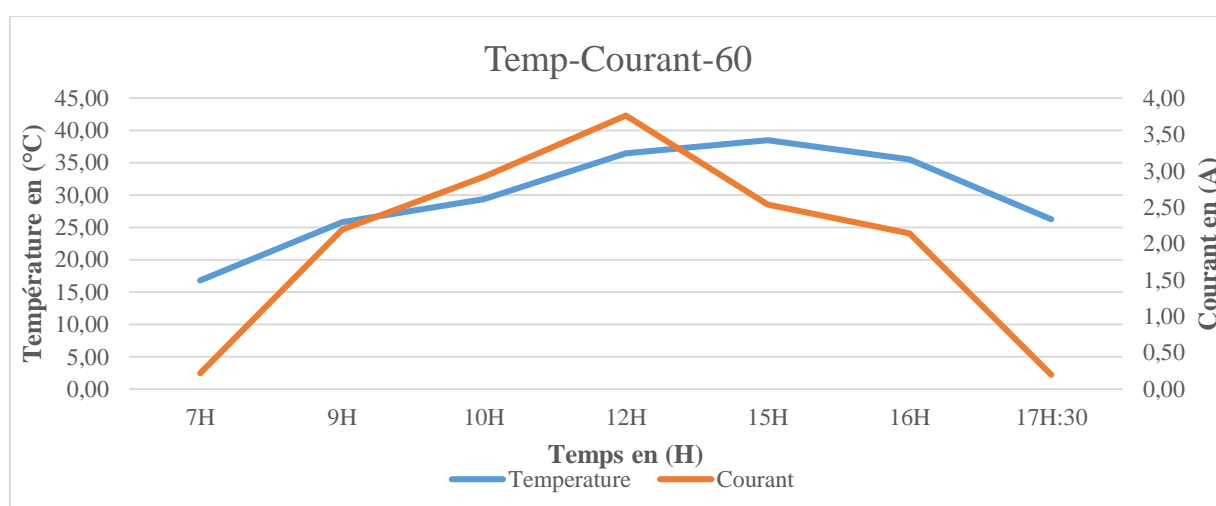


Figure V. 32 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 60° fixe

Avec des courbes presque similaires aux courbes précédentes notamment celles de position 15 et 30°, Le module SA-80 sous cette inclinaison de 60° fournit un faible courant moyen par jour de 1.99A sous la température moyenne de 29.82°C.

d) Température Courant 90°

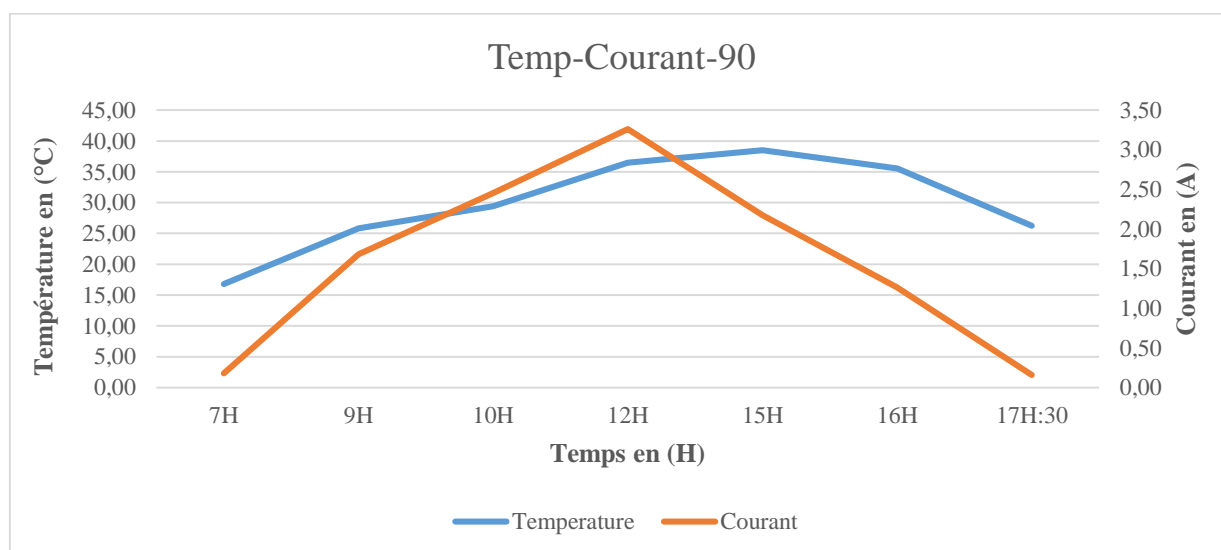


Figure V. 33 : Courbes température-courant du module SA-80 sous 90° fixe

Avec la valeur moyenne par jour de 1.60A sous la température moyenne de 29.82°C, positionné à 90° d'inclinaison, le module SA-80 produit un très faible courant comparativement aux autres positions.

3) Température puissance du modèle SA-80 fixe

a) Température Puissance 15°

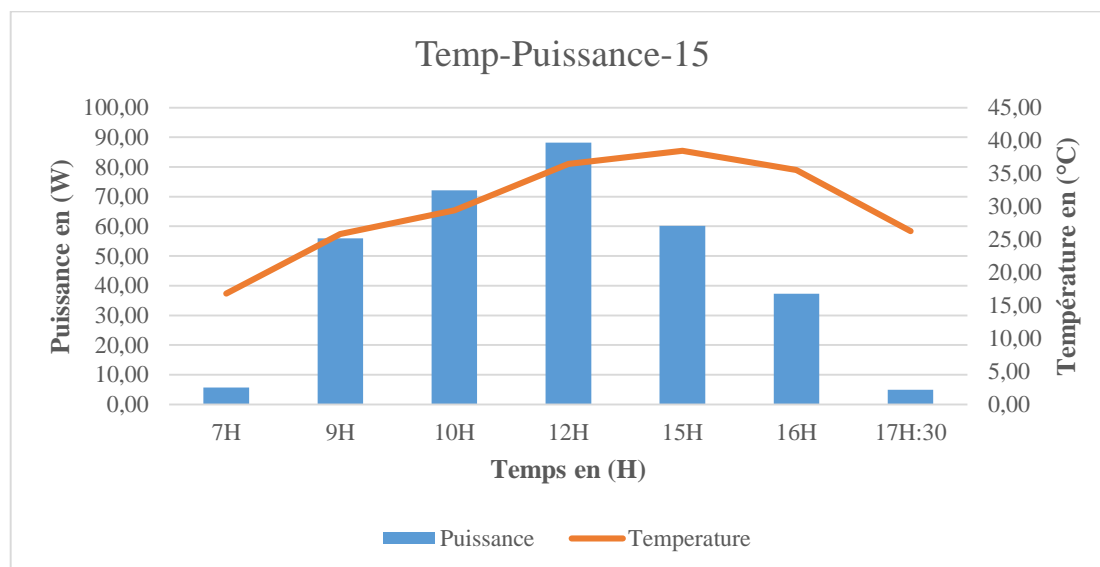


Figure V. 34 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 15° fixe

Le diagramme de puissance montre l'évolution de la puissance fournie par le module SA-80 fixe en fonction de sa température de surface. On constate que la puissance produite par ce module est progressive de 7H à 12H en allant de 5.71 à 88.21W sous la température de 16.80 à 36.46°C. De 12H à 15H et de 15H à 17H 30mn, la puissance fournie est régressive en chutant de 88.21 à 60.18W et de 60.18 à 4.87W, sous la température d'évolutive de 36.46 à 38.48°C entre 12H et 15H, et de 38.48 à 26.25°C. Soit une chute de 28.03W entre 12H et 15H, et une perte à la moyenne de 19.82W. Avec cette position de 15° le module produit en moyenne par jour une puissance de 46.35W sous la température moyenne de 29.82°C.

b) Température Puissance 30°

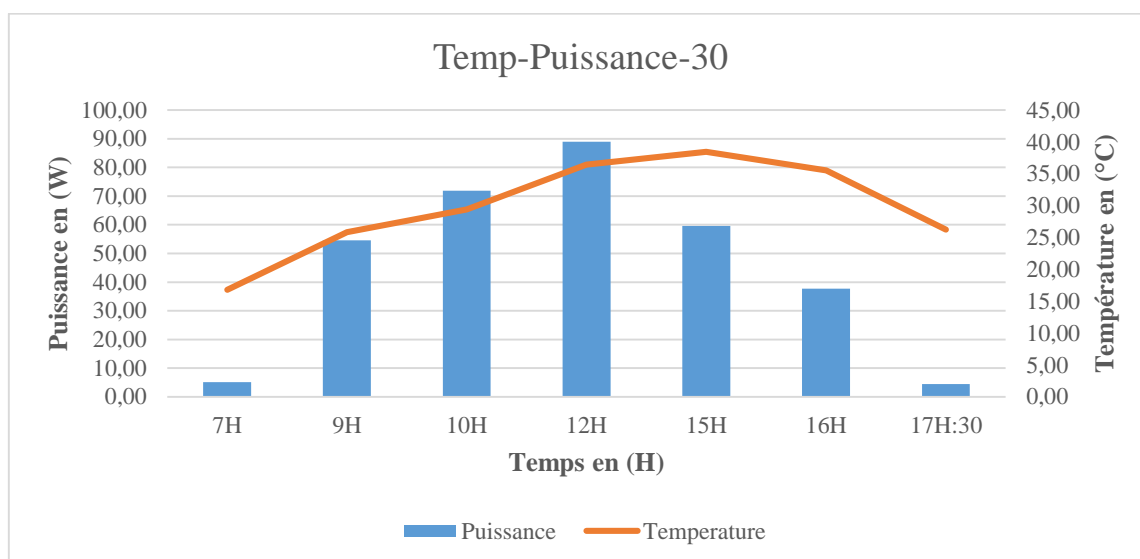


Figure V. 35 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 30° fixe

Le diagramme de puissance montre l'évolution de la puissance donnée par le module SA-80 fixe en fonction de sa température de surface sous 30°. On remarque que la puissance produite par ce module est progressive de 7H à 12H en allant de 5.15 à 89W sous la température de 16.80 à 36.46°C. De 12H à 15H et de 15H à 17H 30mn la puissance fournie est régressive en chutant de 89 à 59.60W et 59.60 à 4.44W, sous la température d'évolutive de 36.46 à 38.48°C entre 12H et 15H, et de 38.48 à 26.25°C de 15H à 17H:30mn, soit une chute de 29.4W entre 12H et 15H, et une perte à la moyenne de 20.4W. Avec cette position de 30° le module produit en moyenne par jour une puissance de 46.06W sous la température moyenne de 29.82°C, soit un peu moins de la puissance fournie sous 15°.

c) Température Puissance 60°

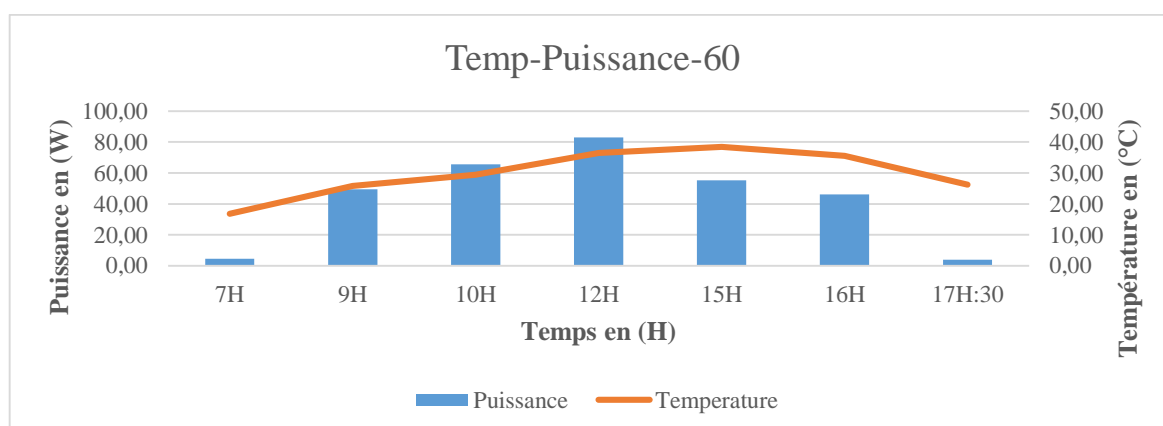


Figure V. 36 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 60° fixe

Le diagramme de puissance montre l'évolution de la puissance fournie par le module SA-80 fixe en fonction de sa température de surface. On constate que la production de puissance par ce module est progressive de 7H à 12H en allant de 4.54 à 83.03W sous la température de 16.80 à 36.46°C. De 12H à 15H et de 15H à 17H 30 la puissance fournie est régressive en chutant de 83.03 à 55.23W et de 55.23 à 3.84W, sous la température évolutive de 36.46 à 38.48°C entre 12H et 15H, et de 38.48 à 26.25°C, soit une chute de 27.8W entre 12H et 15H, et une perte à la moyenne de 24.77W. Avec cette position de 60° le module produit en moyenne par jour une puissance de 43.94W sous la température moyenne de 29.82°C.

d) Température Puissance 90°

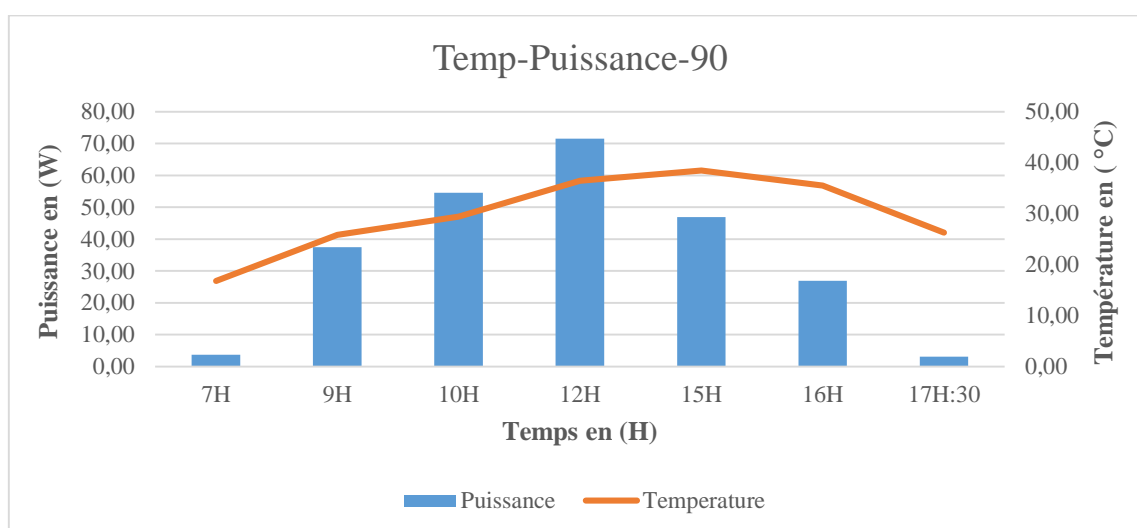


Figure V. 37 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 sous 90° fixe

Le diagramme de puissance montre l'évolution de la puissance fournie par le module SA-80 fixe en fonction de sa température de surface. On observe que la puissance crête produite par ce module est progressive de 7H à 12H en allant de 3.63 à 71.57W sous la température de 16.80 à 36.46°C. De 12H à 15H et de 15H à 17H 30 la puissance fournie est régressive en baissant de 71.57 à 46.92W et 46.92 à 3.12W sous la température évolutive de 36.46 à 38.48°C entre 12H et 15H, et de 38.48 à 26.25°C. Soit une chute de 24.65W entre 12H et 15H, et une perte à la moyenne de 33.08W. Avec cette position de 90° le module produit en moyenne par jour une puissance de 34.88W sous la température moyenne de 29.82°C.

Comparativement aux résultats précédents les modules placés sous cette position présente trop de pertes de puissance.

4) Evolution de la tension en fonction de tous les paramètres du module SA-80 fixe

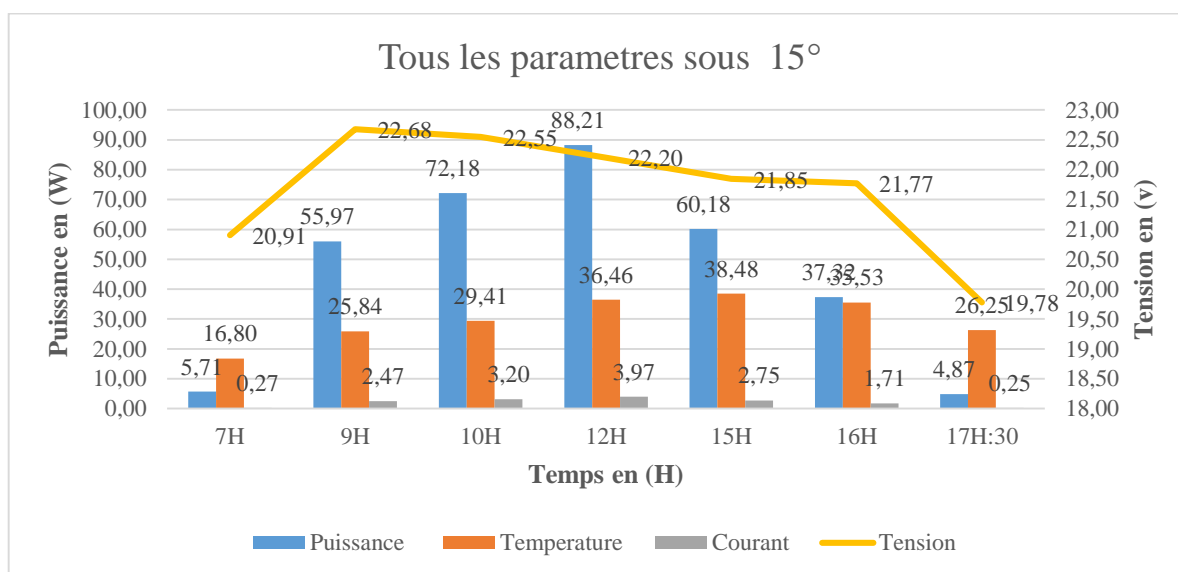


Figure V. 38 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 15° fixe

La figure V. 38 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 15° dans une orientation fixe Sud-Est au cours de la journée.

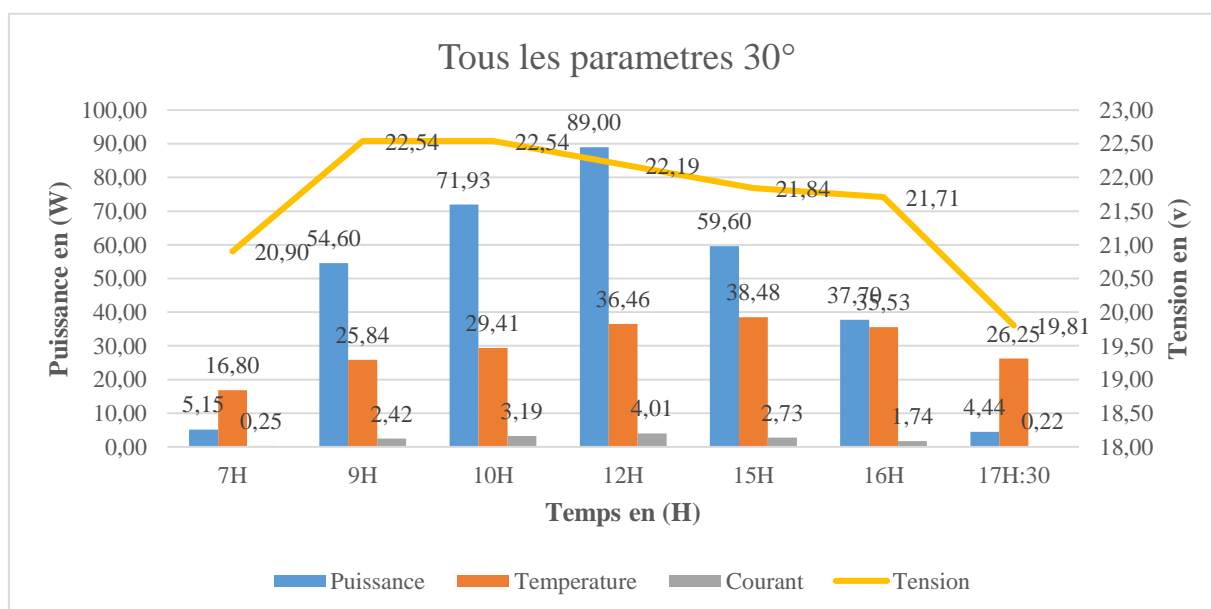


Figure V. 39 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 30° fixe

La figure V. 39 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 30° dans une orientation fixe Sud-Est au cours de la journée.

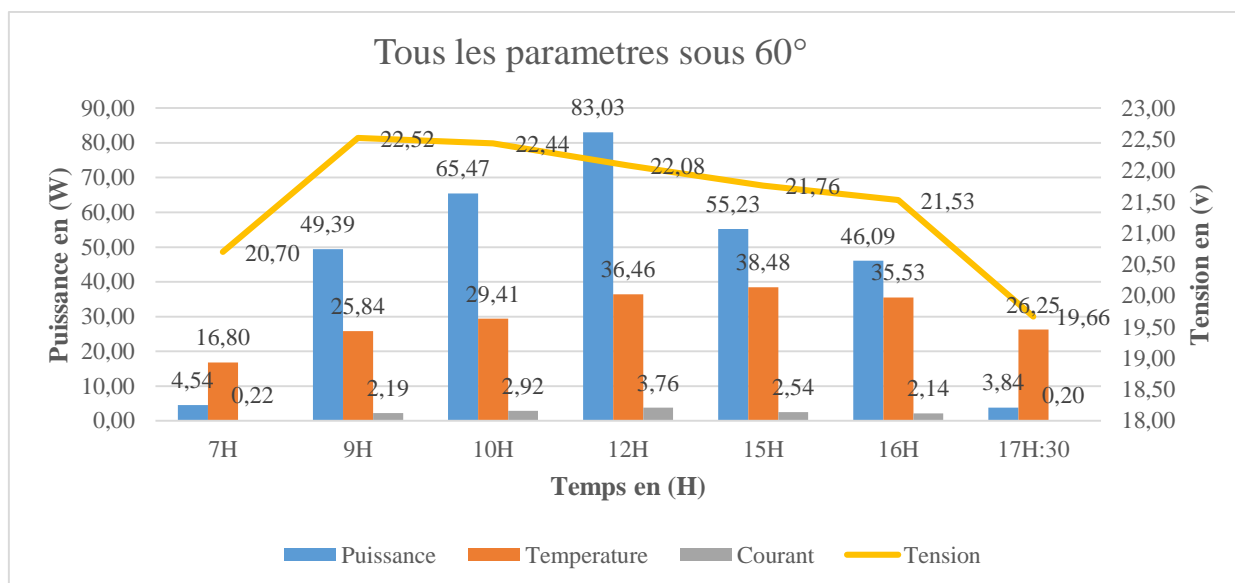


Figure V. 40 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 60° fixe

La figure V. 40 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 60° dans une orientation fixe Sud-Est au cours de la journée.

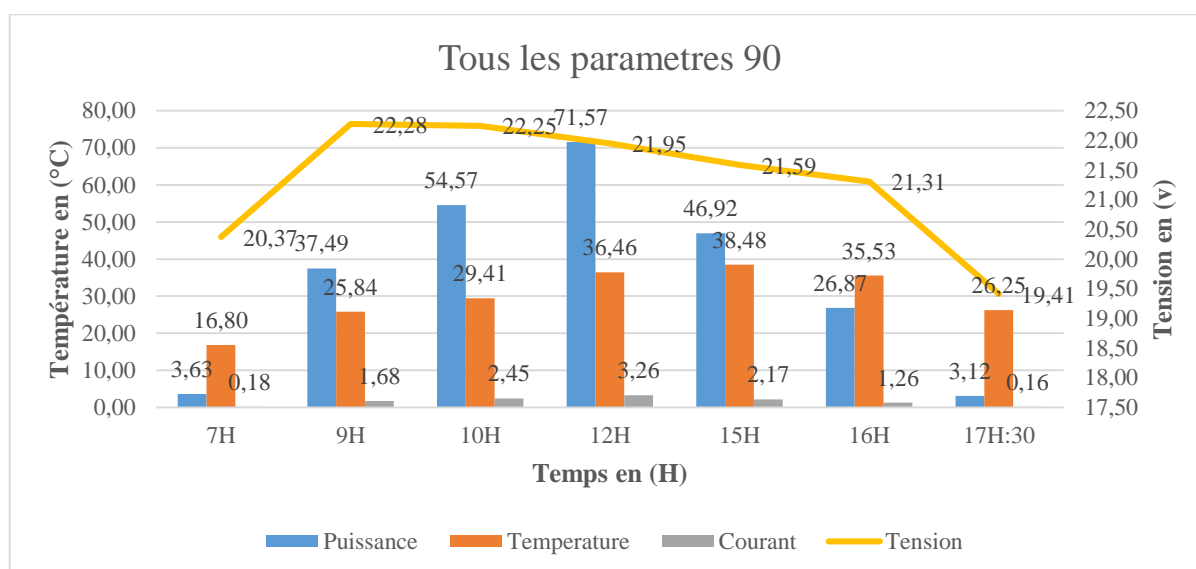


Figure V. 41 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module SA-80 sous 90° fixe

La figure V. 41 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque polycristallin modèle SA-80 placé sous l'angle 90° dans une orientation fixe Sud-Est au cours de la journée.

5) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température

a) La tension dominante

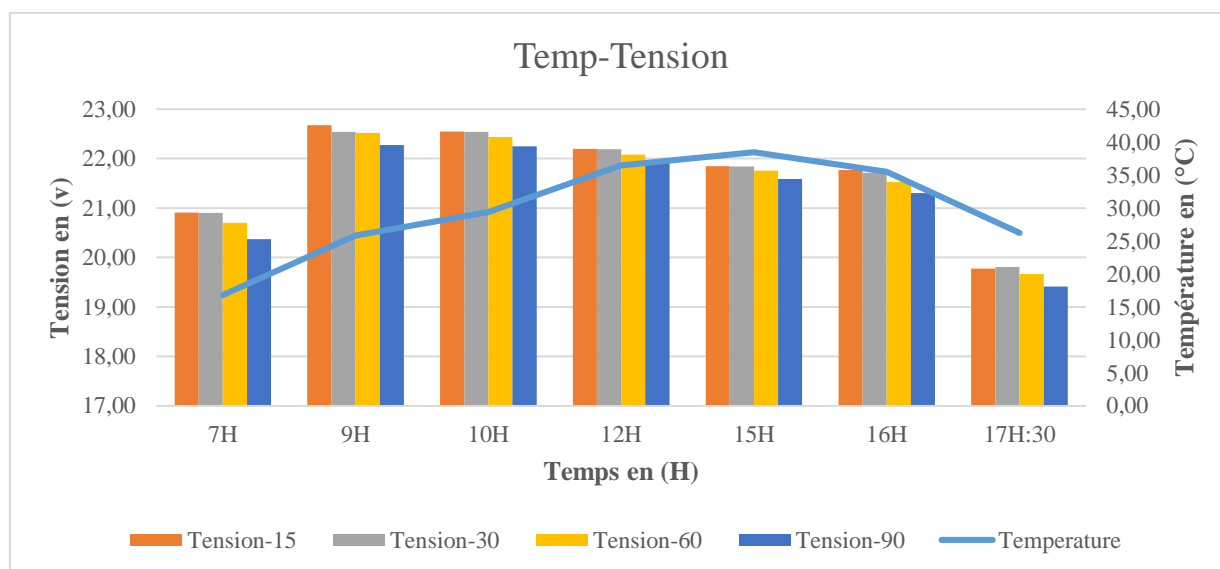


Figure V. 42 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 fixe

A travers la figure V. 42 et le tableau V. 6, la tension dominante dans la journée est celle produite par le module sous l'inclinaison 15° avec valeur moyenne de 21.67volts sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 6 : Moyenne de température et des tensions du module SA-80 fixe

Tous les angles								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Tension-15 (v)	20,91	22,68	22,55	22,20	21,85	21,77	19,78	21,67
Tension-30 (v)	20,90	22,54	22,54	22,19	21,84	21,71	19,81	21,65
Tension-60 (v)	20,70	22,52	22,44	22,08	21,76	21,53	19,66	21,53
Tension-90 (v)	20,37	22,28	22,25	21,95	21,59	21,31	19,41	21,31

b) Le courant dominant

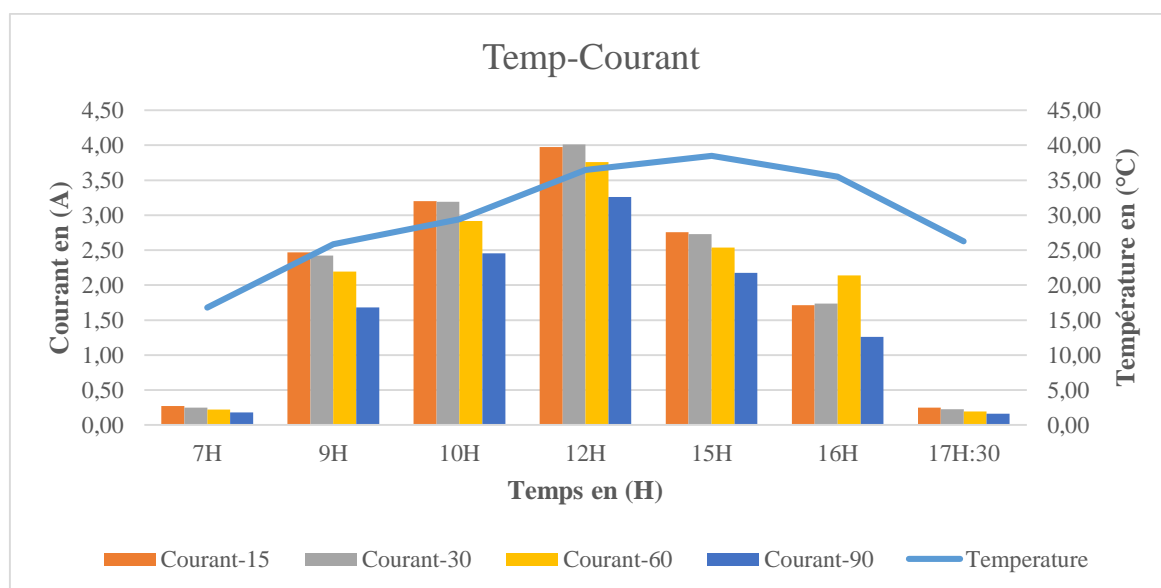


Figure V. 43 : Courbe de température et diagramme du courant du module SA-80 fixe

A travers le diagramme construit (figure V. 43) et le tableau V. 7 le courant dominant dans la journée est celui produit par le module sous l'inclinaison 15° avec valeur moyenne de 2.09A sous la température moyenne de 29.82°C .

Tableau V. 7 : Moyenne de température et des courants du module SA-80 fixe

Heures	Tous les angles							Moy/jour
	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15 (A)	0,27	2,47	3,20	3,97	2,75	1,71	0,25	2,09
Courant-30 (A)	0,25	2,42	3,19	4,01	2,73	1,74	0,22	2,08
Courant-60 (A)	0,22	2,19	2,92	3,76	2,54	2,14	0,20	1,99
Courant-90 (A)	0,18	1,68	2,45	3,26	2,17	1,26	0,16	1,60

c) La puissance dominante

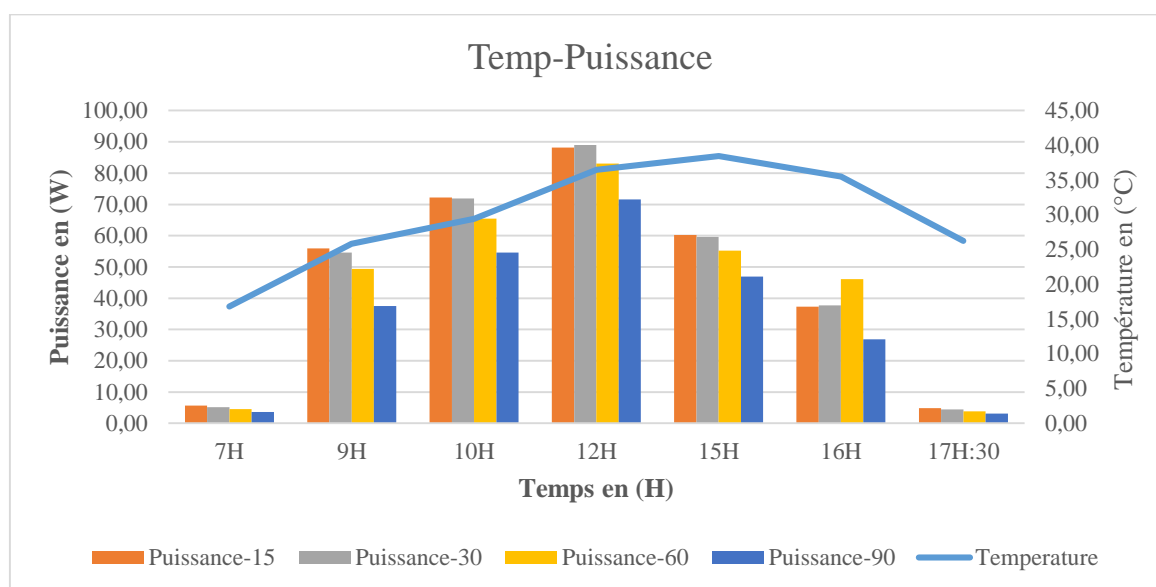


Figure V. 44 : Courbe de température et diagramme de puissance du module SA-80 fixe

Grace à la figure V. 44 et le tableau V. 8 la puissance dominante dans la journée est celle fournie par le module sous l'inclinaison 15° avec valeur moyenne de 46.35W sous la température moyenne de 29.82°C .

Tableau V. 8 : Moyenne de température et des puissances du module SA-80 fixe

Tous les angles								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Puissance-15 (W)	5,71	55,97	72,18	88,21	60,18	37,32	4,87	46,35
Puissance-30 (W)	5,15	54,60	71,93	89,00	59,60	37,70	4,44	46,06
Puissance-60 (W)	4,54	49,39	65,47	83,03	55,23	46,09	3,84	43,94
Puissance-90 (W)	3,63	37,49	54,57	71,57	46,92	26,87	3,12	34,88

VI. Exploitation des courbes température-tension du modèle AP-PM

100 monocristallin l'orientation variable

1) Température-Tension du modèle AP-PM 100

a) Température tension 15°

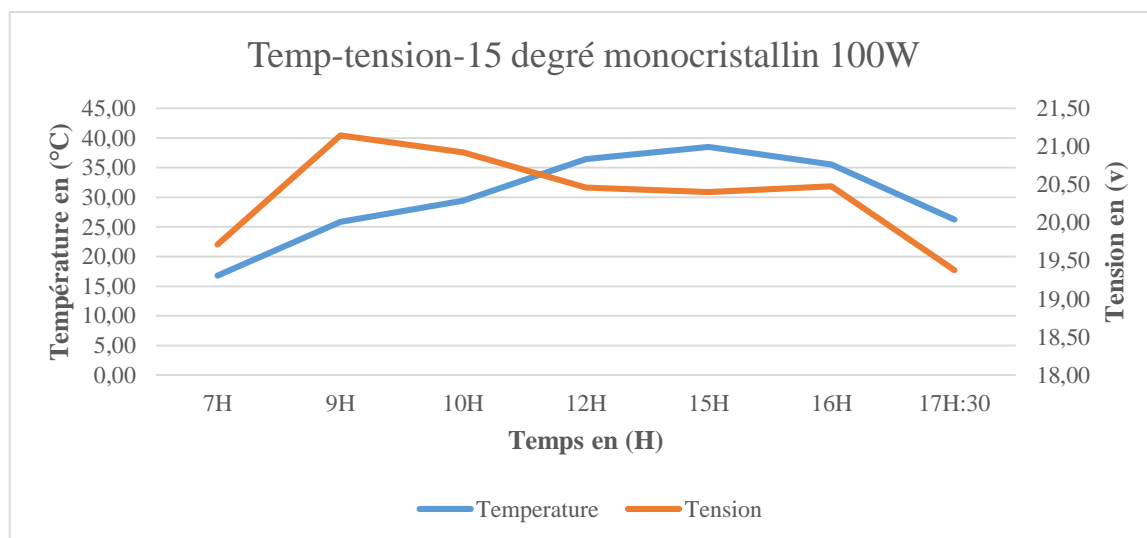


Figure V. 45 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 15°

Ce graphe (figure V. 45) est similaire à celui de Temp-Tension-15° polycristallin mais on constate qu'une baisse de tension importante qui reste inférieure à 21,2volts durant toute la journée. Sous une température moyenne de 29.82°C, le module AP-PM 100 produit en moyenne par jour une tension de 20.36volts.

b) Température Tension 30°

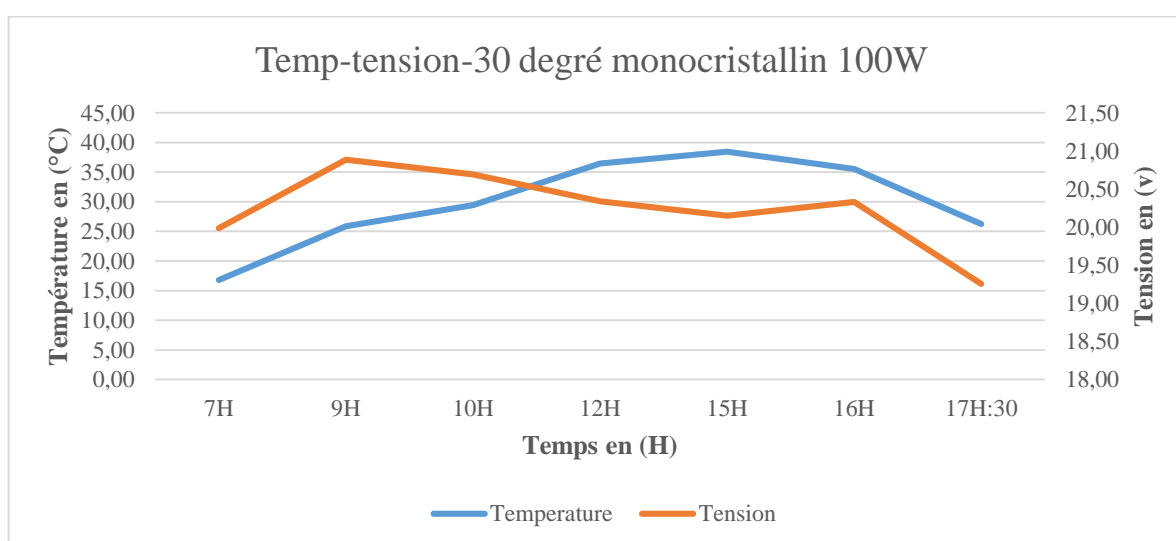


Figure V. 46 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 30°

Similaire à celui de Temp-Tension-30° polycristallin mais on remarque aussi qu'une baisse de tension importante qui reste inférieure à 20.9volts durant toute la journée. Sous une température moyenne de 29.82°C le module AP-PM 100 fournie en moyenne par jour une tension de 20.23volts, soit moins à celle de position 15°.

c) Température Tension 60°

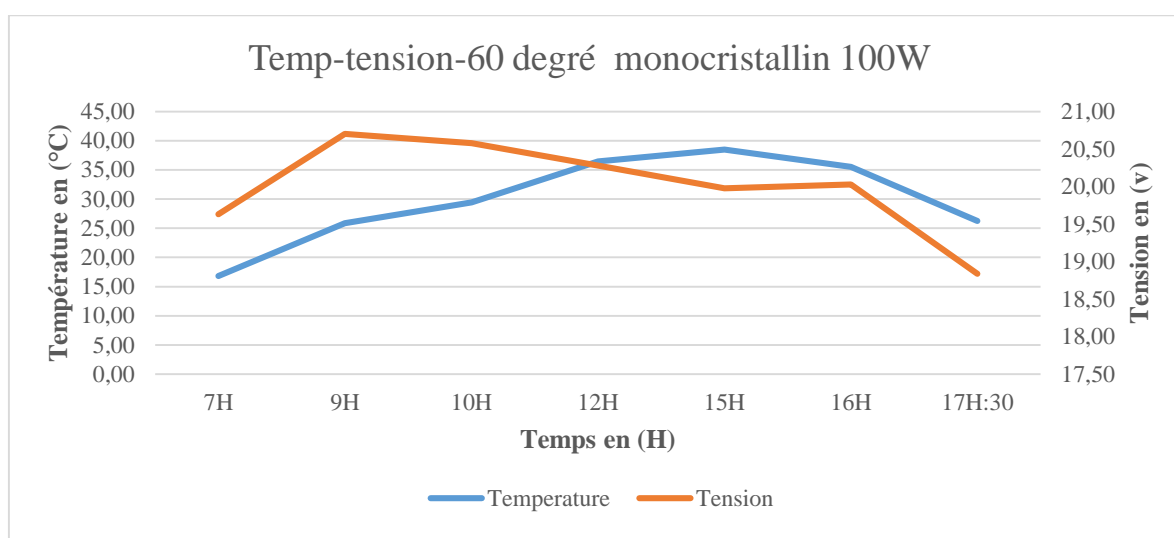


Figure V. 47 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 60°

Ce graphe (figure V. 47) est similaire à celui de Temp-Tension-60° polycristallin mais on constate qu'une baisse de tension importante qui reste inférieure ou égale à 20.7volts durant toute la journée. Sous une température moyenne de 29.82°C le module AP-PM 100 incliné à 60° dans la direction du soleil produit en moyenne par jour une tension de 20.00volts soit moins que celle produite sous 15 et 30°.

d) Température Tension 90°

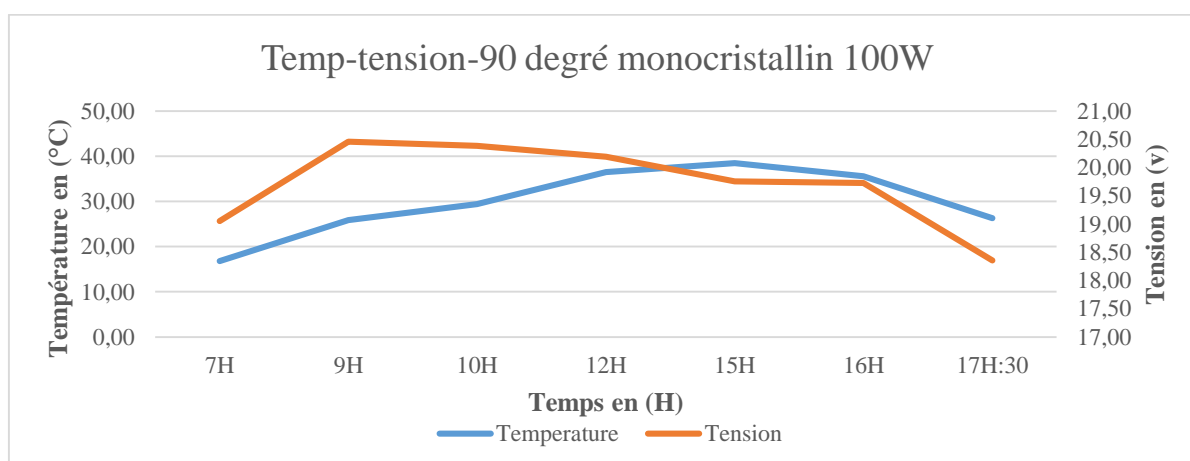


Figure V. 48 : Courbes température-tension du module AP-PM 100 sous 90°

Ce graphe est similaire à celui de Temp-Tension-90° polycristallin mais on constate qu'une baisse de tension importante qui reste nettement inférieure à 20.5volts durant toute la journée. Sous une température moyenne de 29.82°C le module AP-PM 100 incliné à 60° dans la direction du soleil produit en moyenne par jour une tension de 19.70volts, soit moins de celles produites sous 15, 30 et 60°.

De toutes ces positions nous constatons que ce module produit plus de tension s'il est positionné dans l'orientation 15°, nous pouvons ainsi interpréter la chute de tension observée dans les orientations 30, 60 et 90° par la surchauffe de panneau et le flux de rayonnement arrivant sur le panneau (intensité inférieure à celui de 15°). Nous constatons aussi que ce type de module est très sensible à la chaleur c'est-à-dire que la température influence beaucoup sa production de tension.

2) Température – Courant du modèle AP-PM 100

a) Température Courant 15°

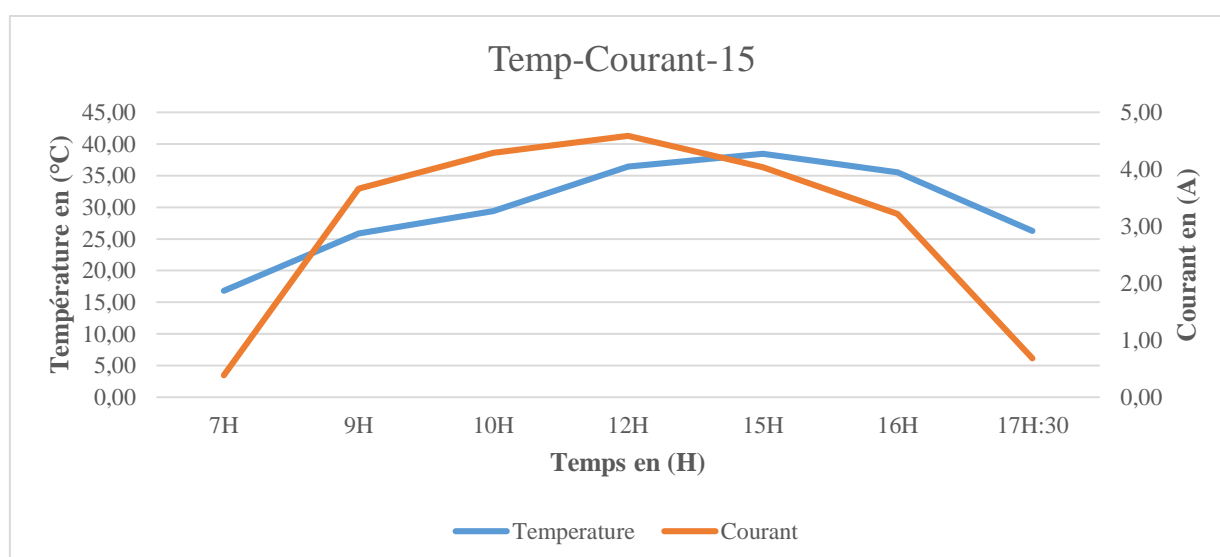


Figure V. 49 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 15°

Avec une forme presque parabolique dont la concavité est vers le bas, l'allure du courant produit montre que la production suit l'évolution de la température du jour, plus la température est importante plus le courant augmente, avec les données du tableau 5.31 on remarque un fort courant à midi (4.59A), avec une température moyenne de 36.46°C bien que la température n'est pas au seuil mais l'intensité de rayonnement solaire est culminante, ce qui justifie le fort courant à midi.

b) Température Courant 30°

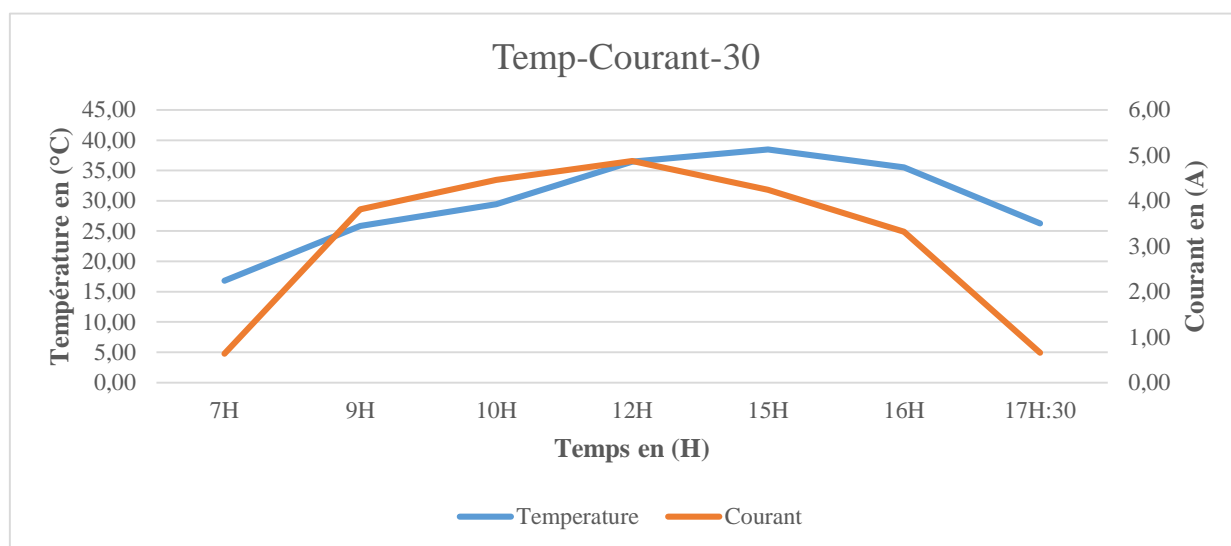


Figure V. 50 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 30°

Sous 30° d'inclinaison le module photovoltaïque AP-PM 100 produit un courant dont l'allure est quasi-parabolique avec un maximum de 4.88A à midi sous la température moyenne de 36.46°C

c) Température Courant 60°

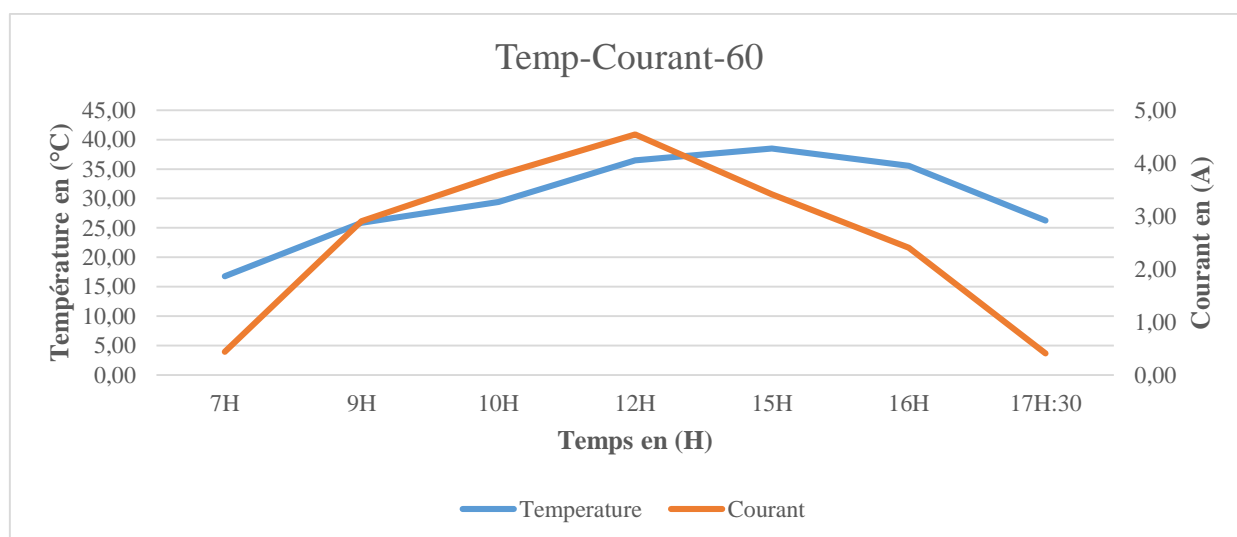


Figure V. 51 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 60°

Orienté sous l'angle de 60° l'allure de la courbe du courant produit par le module AP-PM 100 présente un pique à midi de 4.54 A sous la température de 36.46°C.

d) Température Courant 90°

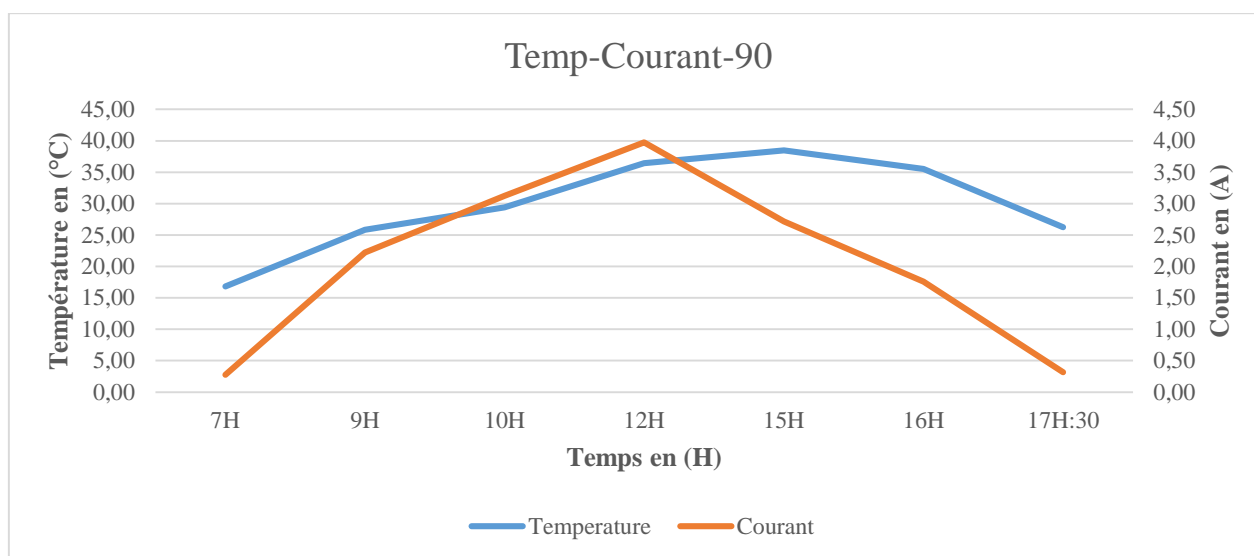


Figure V. 52 : Courbes température-courant du module AP-PM 100 sous 90°

Incliné sous 90° le pique observé à midi est 3.98A sous la température de 36.46°C. Ce pique est le plus faible de toutes les positions précédentes, ceci est dû aux arrivés des rayonnements solaires sur la surface de panneau et aussi à la chaleur.

3) Température puissance du modèle AP-PM 100

a) Température Puissance 15°

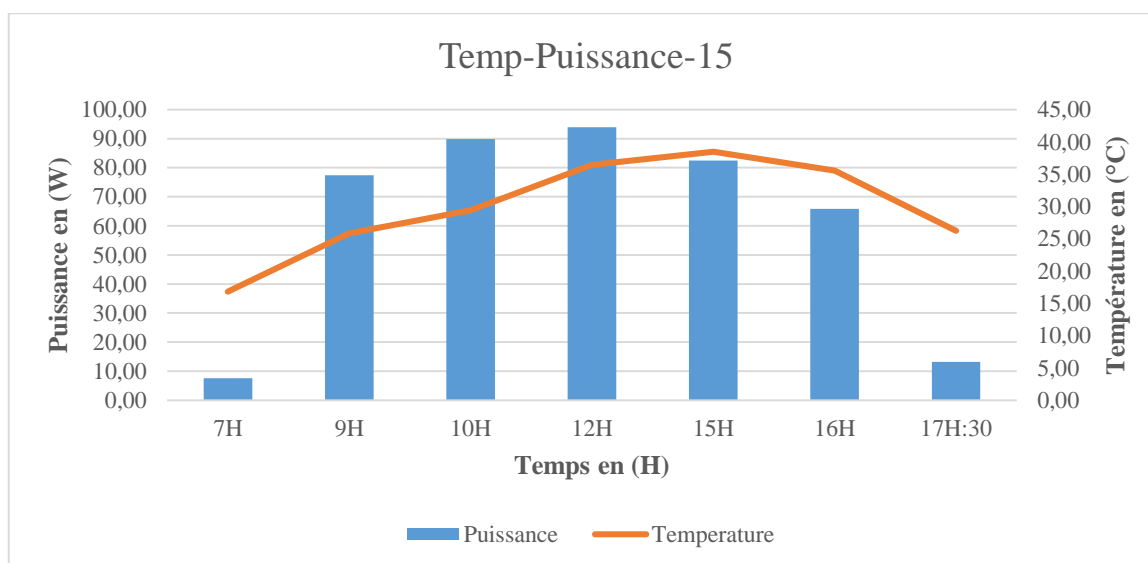


Figure V. 53 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 15°

A 15° d'inclinaison le module monocristallin AP-PM 100 produit une puissance moyenne de 61.45W sous 29.82°C.

b) Température Puissance 30°

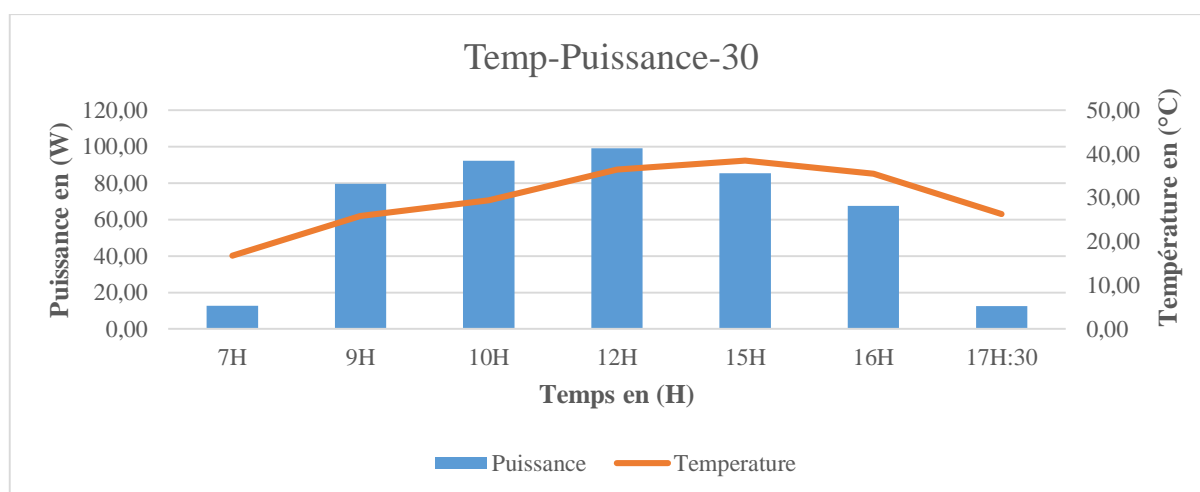


Figure V. 54 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 30°

Avec une puissance moyenne journalière de 64.19W, le module AP-PM 100 incliné sous l'angle de 30° produit beaucoup plus de puissance de toutes les positions d'inclinaisons choisies.

c) Température Puissance 60°

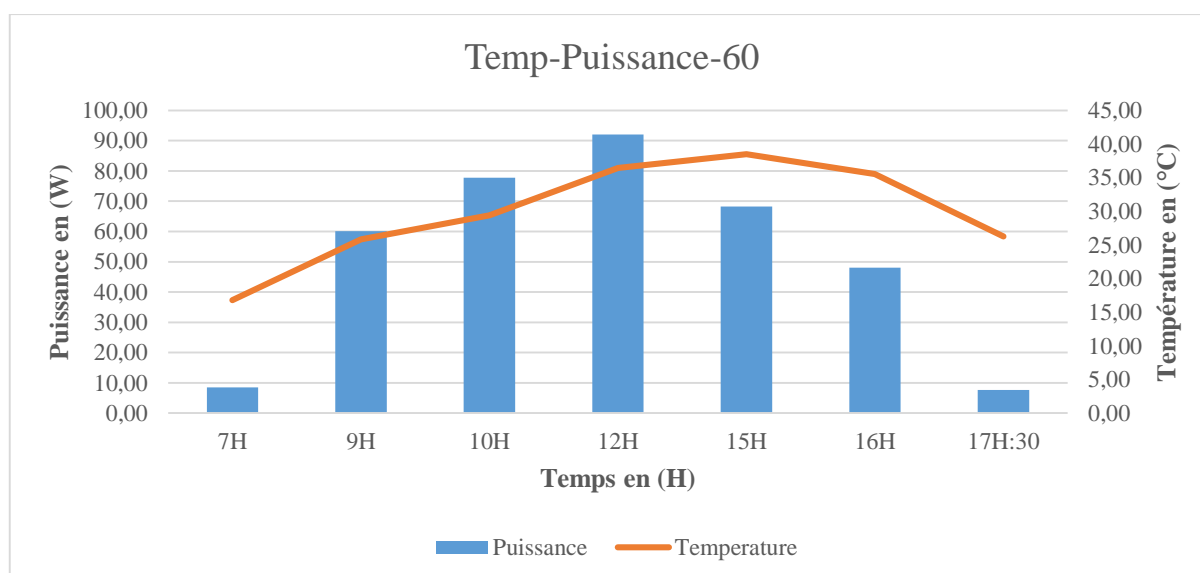


Figure V. 55 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 60°

A 60° d'inclinaison le module monocristallin AP-PM 100 produit une puissance moyenne de 51.76W.

d) Température Puissance 90°

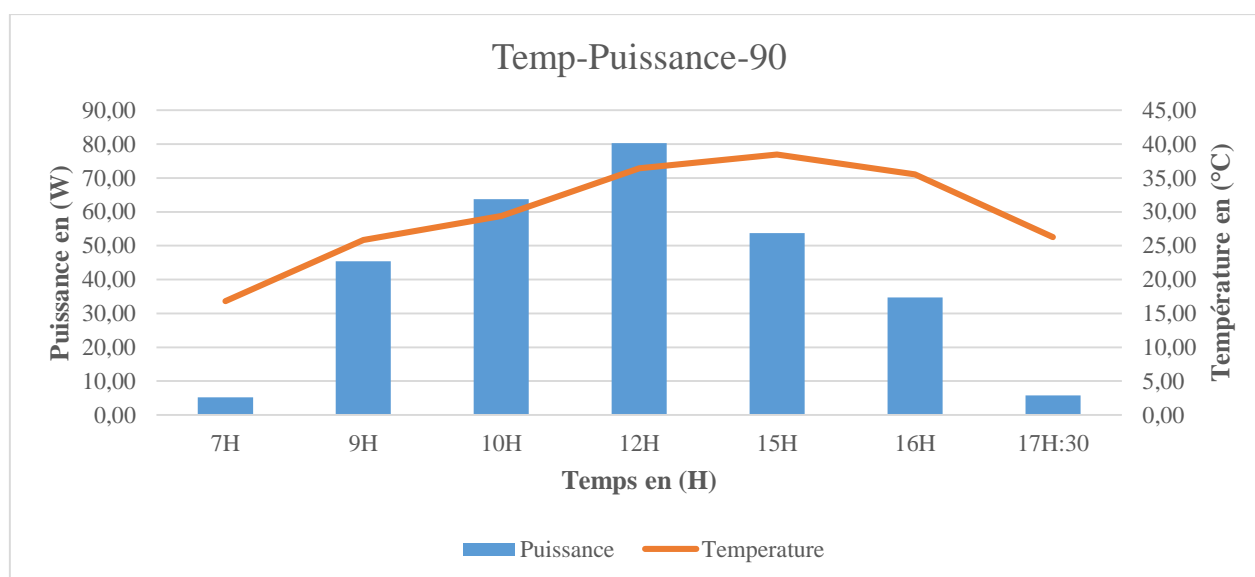


Figure V. 56 : Courbe de température et le diagramme de puissance du module AP-PM 100 sous 90°

Avec une puissance moyenne journalière de 41.27W le module AP-PM 100 produit une faible puissance sous la position de 90°, cette position paraît la plus faible de toutes les positions précédentes.

4) Evolution de la tension en fonction de tous les paramètres du module AP-PM 100

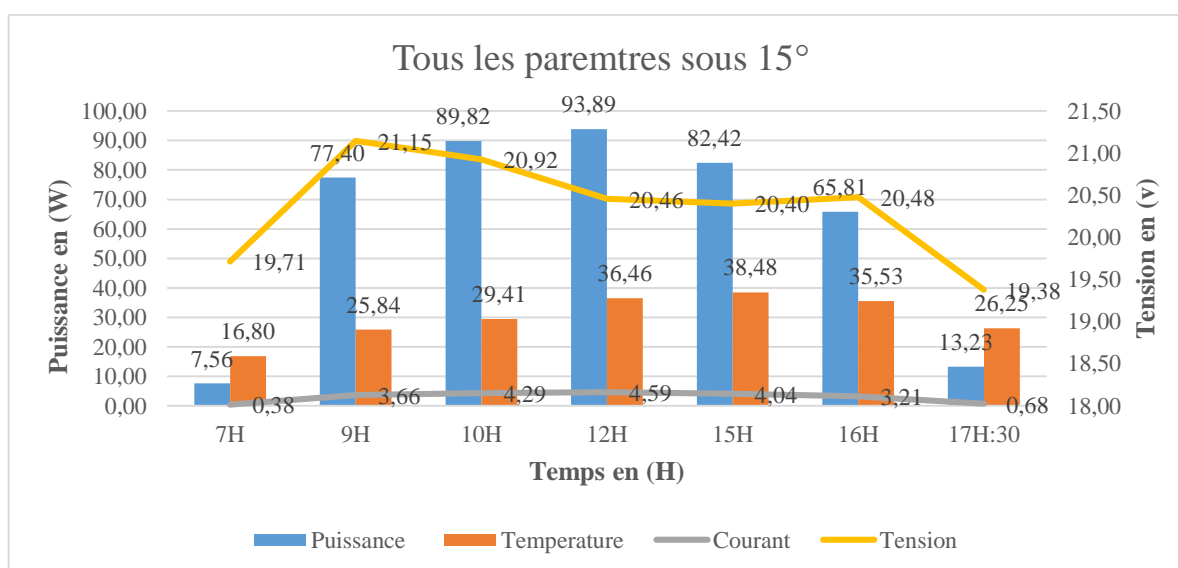


Figure V. 57 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 15°

La figure V.57 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque monocristallin modèle AP-PM 100 placé sous l'angle 15° orienté en direction du soleil au cours de la journée.

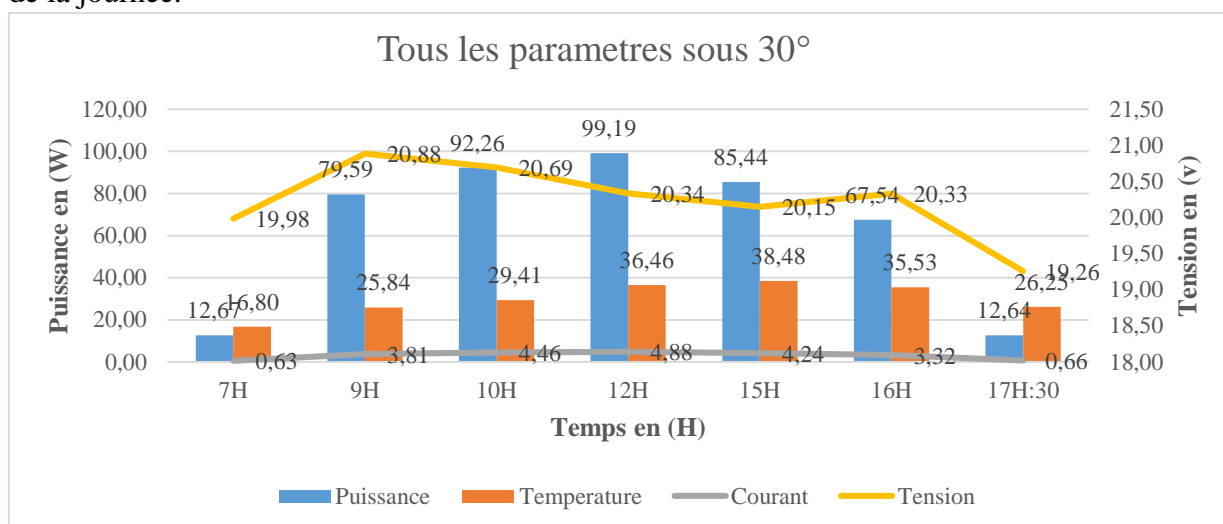


Figure V. 58 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 30°

La figure V. 58 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque monocristallin modèle AP-PM 100 placé sous l'angle 30° orienter en direction du soleil au cours de la journée.

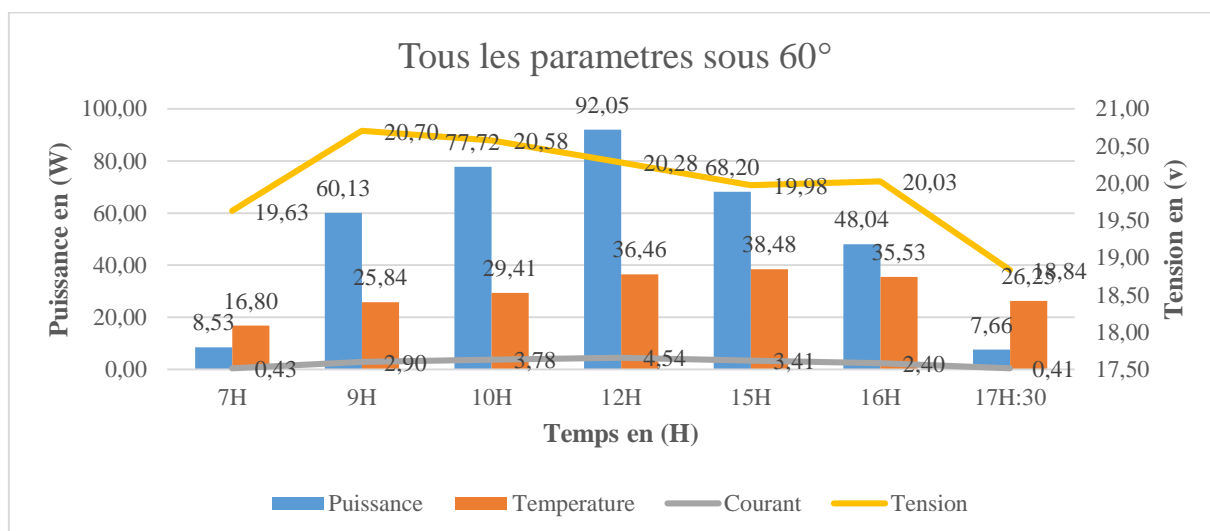


Figure V. 59 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 60°

La figure V. 59 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque monocristallin modèle AP-PM 100 placé sous l'angle 60° orienter en direction du soleil au cours de la journée.

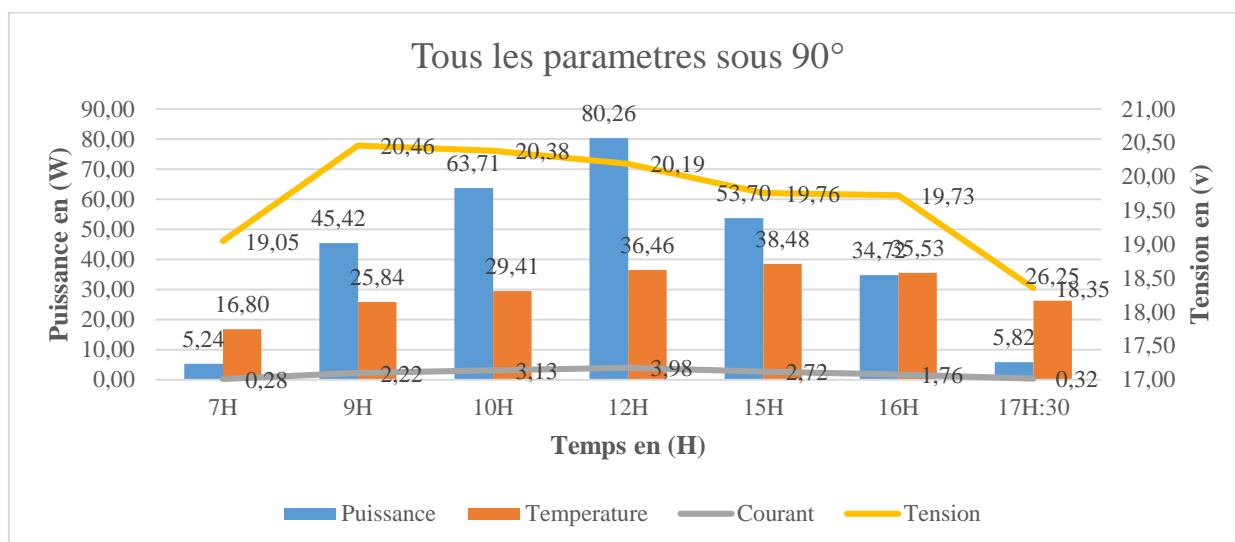


Figure V. 60 : Courbes de quatre grandeurs puissance-température-courant-tension du module AP-PM 100 sous 90°

La figure V. 60 nous montre l'évolution des paramètres du module photovoltaïque monocristallin modèle AP-PM 100 placé sous l'angle 90° orienté en direction du soleil au cours de la journée.

5) Le paramètre dominant par l'inclinaison et en fonction de température

a) La tension dominante

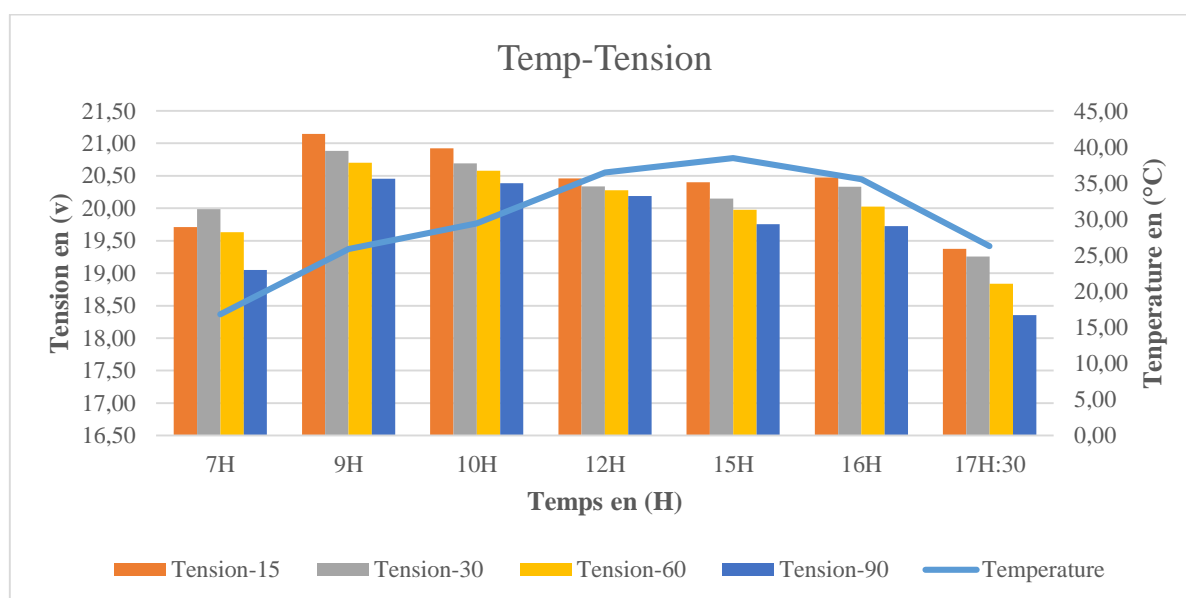


Figure V. 61 : Courbe de température et diagramme de tension du module AP-PM 100

A travers le diagramme construit et le tableau ci-dessous, on remarque que la tension dominante dans la journée est celle produite par le module sous l'inclinaison 15° avec valeur moyenne de 20.36volt sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 9 : Moyenne de température et tensions du module AP-PM 100

Tous les angles								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Tension-15 (v)	19,71	21,15	20,92	20,46	20,40	20,48	19,38	20,36
Tension-30 (v)	19,98	20,88	20,69	20,34	20,15	20,33	19,26	20,23
Tension-60 (v)	19,63	20,70	20,58	20,28	19,98	20,03	18,84	20,00
Tension-90 (v)	19,05	20,46	20,38	20,19	19,76	19,73	18,35	19,70

b) Le courant dominant

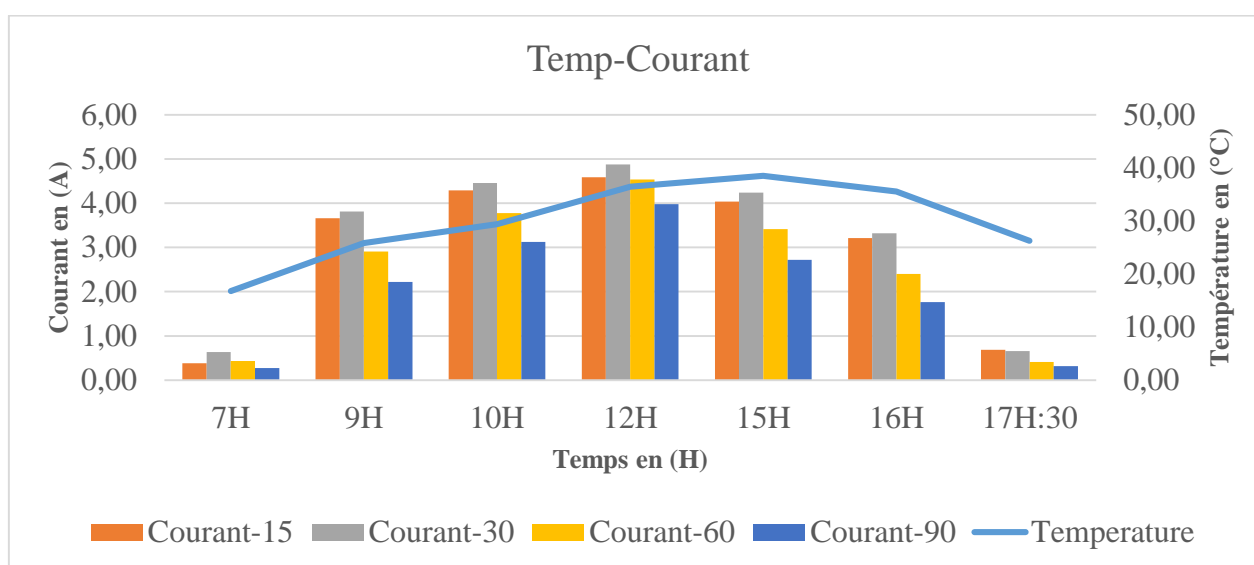


Figure V. 62 : Courbe de température et diagramme de courant du module AP-PM 100

La figure V. 62 et le tableau V. 10 ci-dessous montrent que le courant dominant dans la journée est celui produit par le module sous l'inclinaison 30° avec valeur moyenne de 3.14A sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 10 : Moyenne de température et courants du module AP-PM 100

Tous les angles								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Courant-15 (A)	0,38	3,66	4,29	4,59	4,04	3,21	0,68	2,98
Courant-30 (A)	0,63	3,81	4,46	4,88	4,24	3,32	0,66	3,14
Courant-60 (A)	0,43	2,90	3,78	4,54	3,41	2,40	0,41	2,55
Courant-90 (A)	0,28	2,22	3,13	3,98	2,72	1,76	0,32	2,06

c) La puissance dominante

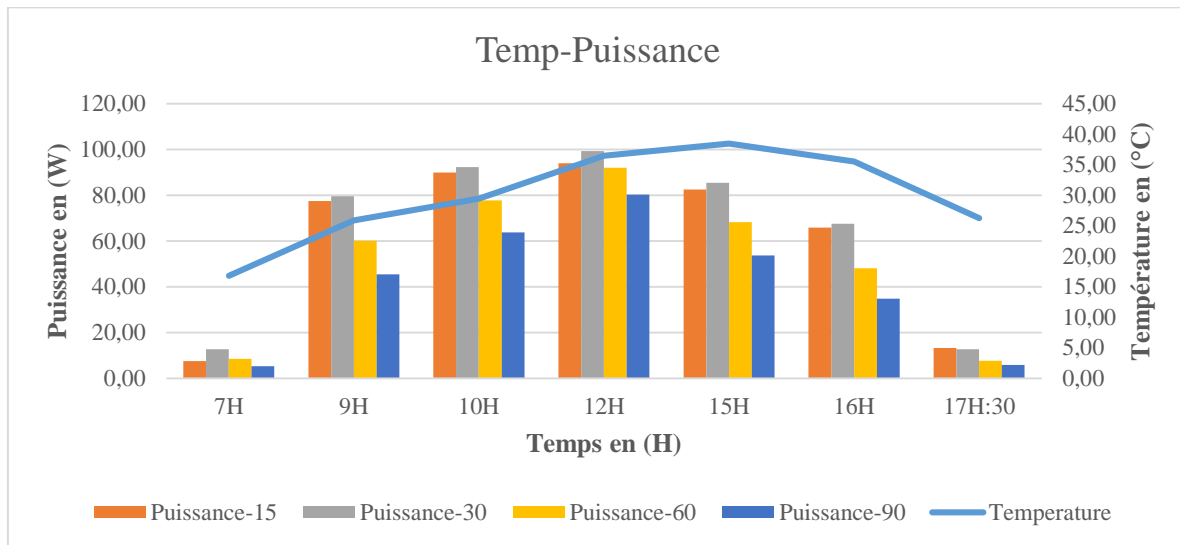


Figure V. 63 : Courbe de température et diagramme de puissance du module AP-PM 100

Grace au diagramme et le tableau ci-dessous, la puissance dominante dans la journée est celle fournie par le module sous l'inclinaison 30° avec valeur moyenne de 64.19watts sous la température moyenne de 29.82°C.

Tableau V. 11 : Moyenne de température et courant du module AP-PM 100

Tous les angles								
Heures	7H	9H	10H	12H	15H	16H	17H:30	Moy/jour
Température (°C)	16,80	25,84	29,41	36,46	38,48	35,53	26,25	29,82
Puissance-15 (W)	7,56	77,40	89,82	93,89	82,42	65,81	13,23	61,45
Puissance-30 (W)	12,67	79,59	92,26	99,19	85,44	67,54	12,64	64,19
Puissance-60 (W)	8,53	60,13	77,72	92,05	68,20	48,04	7,66	51,76
Puissance-90 (W)	5,24	45,42	63,71	80,26	53,70	34,72	5,82	41,27

VII. Chute de température forcée sous l'action de l'eau fraîche

Entre midi et 15H la température de la surface du module est très élevée, une eau glacée répandue à sa surface permet de voir l'évolution de tension et du courant suite à la baisse de température.

VIII. Proposition dans le but de réduire la température du panneau PV

Dans le but de baisser la température du module, nous proposons un système de refroidissement naturel qu'utilise les villageois pour le refroidissement de certains réservoirs

d'eau. Comme la carcasse du panneau est faite en aluminium un matériau non oxydable par l'oxygène de l'air et de l'eau, on peut très bien utiliser cette méthode.

Cette méthode consiste à faire un revêtement à l'arrière du panneau avec de fibre de jute (utilisée dans le sac en toile de jute) qu'elle soit en contact avec les parois arrière du panneau et un circuit d'eau pour alimenter la fibre de jute en permanence ainsi l'air naturelle qui passe sera comme le refroidisseur. Le transfert de chaleur qui sera effectué dans ce système est de deux formes, le phénomène de conduction entre l'eau circulant dans la fibre de jute et la face arrière du module et la convection entre l'air environnant et la fibre de jute.

1) Le montage du système

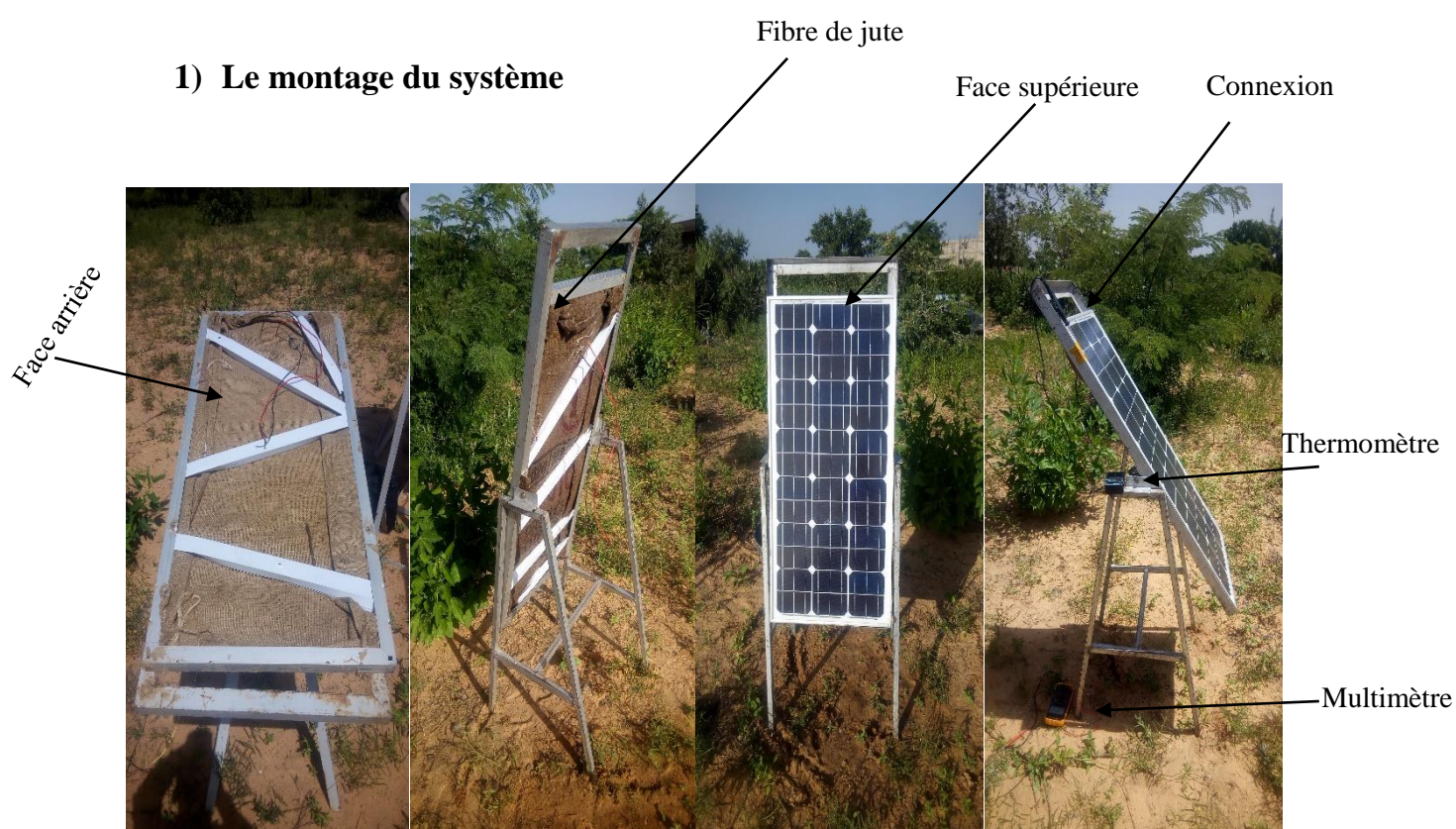


Figure V. 64 : Le Montage de fibre de jute et condition d'expérience du panneau photovoltaïque installé

2) Le résultats d'expérience N°1 & N°2

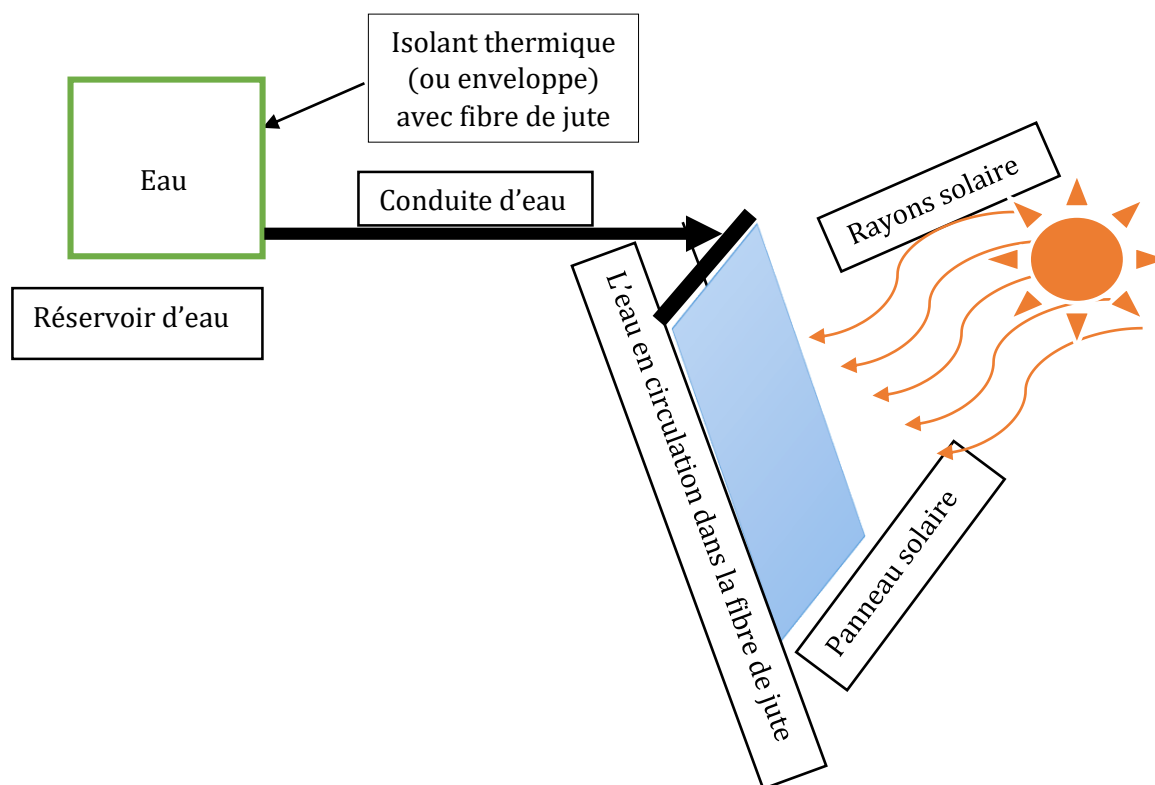


Figure V. 65 : Schéma du montage avec fibre de jute

Les deux tableau ci-dessous montrent les résultats de l'expérience

Tableau V. 12 : Résultats de l'expérience sans fibre de jute et panneau sous 15°

15° Sans Fibre de jute						
Heures	11H	12H	14H	15H	16H	Moyenne
Tension(v)	21,2	21,1	20,8	20,7	21,4	21,04
Courant(A)	4,56	4,8	4,78	3,74	3,2	4,216
Puissance(W)	96,672	101,28	99,424	77,418	68,48	88,6548
Température(°C)	50,2	54,3	56,5	60,3	45,3	53,32

Tableau V. 13 : Résultats de l'expérience avec fibre de jute et panneau sous 15°

15° Avec Fibre de Jute						
Heures	11H	12H	14H	15H	16H	Moyenne
Tension(v)	21,5	21,4	21	21,2	22,4	21,5
Courant(A)	4,58	4,72	4,54	3,86	3,54	4,248
Puissance(W)	98,47	101,008	95,34	81,832	79,296	91,1892
Température(°C)	45	50,6	51,7	50	43,4	48,14

IX. Proposition dans le but de réduire la température de la face supérieure du panneau PV

Dans le but de baisser la température du module, nous proposons ici un système de refroidissement par jet d'eau sur la face supérieure du panneau. L'expérience a montré que ce système est le plus efficace car il permet la perte rapide de température. L'inconvénient de ce système est qu'il nécessite beaucoup d'eau et en plus de cela il faut traiter l'eau avant son injection sur le système.

1) Le résultat de l'expérience N°3

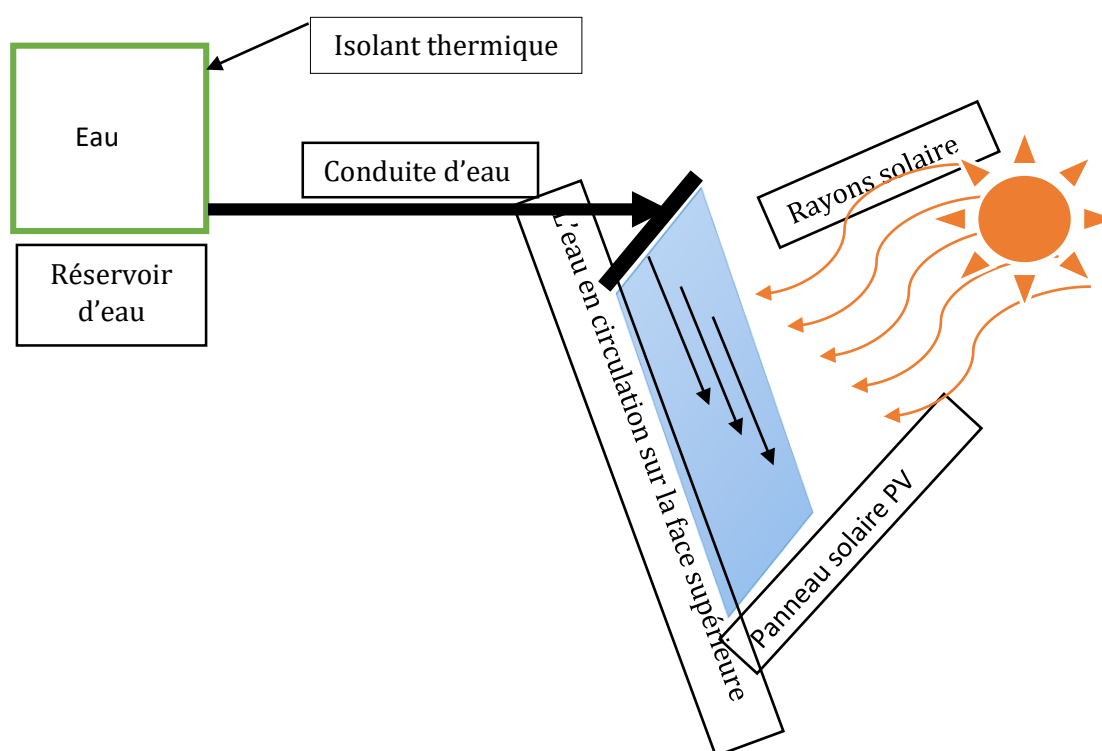


Figure V. 66 Schéma du montage avec l'eau en circulation sur la face supérieure du panneau

Tableau V. 14 : Résultats de l'expérience avec fibre de jute et l'eau sur sa face réceptrice de lumière panneau sous 15°

15° Avec Fibre de jute				
	Tension(v)	Courant(A)	puissance(W)	Température
15H	22,6	4,65	105,09	41,5

Conclusion

En reconstituant, l'ensemble des analyses et interprétations qui ont été faites sur les données ainsi fournies par nos modules installés au nouveau site de l'université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi près de Laboratoire de Physique, il est clair que la température joue un rôle important dans la chute de tension produite par les deux modules SA-80 et AP-PM 100 et la puissance fournie par ces derniers.

A Maradi les températures sont très élevées et les panneaux solaires photovoltaïques se trouvent en situation de surchauffe, d'après les études la position et l'angle d'orientation sont nécessaires pour utiliser le refroidissement naturel au maximum dans le but de réduire la chaleur des panneaux et de capter le maximum de rayonnement solaire. Pour un module équipé d'un vérin solaire un angle d'inclinaison de 30° est le meilleur pour capter le rayonnement solaire et avoir la production effective de puissance durant la journée. Donc cette inclinaison permet d'obtenir un bon rendement mais en situation bloquée ou immobile du module SA-80, sous l'orientation sud-est fixe et avec un angle d'inclinaison 15° , la production journalière de puissance étant maximale et l'effet de chaleur est aussi minime, cette position 15° fait appel à un champ important de rayonnement solaire.

Bien que sa production est beaucoup influencée par la température, le meilleur rendement du module monocristallin, modèle AP-PM 100 est obtenu pour la position d'inclinaison 30° , lorsqu'il est relié à un vérin.

De ces deux technologies utilisées, le présent travail nous montre que la technologie de cellule polycristallin s'avère être la plus efficace à Maradi, pour preuve de sa capacité de production avec des chutes de puissance minime en températures élevées et aussi à cause de prix (moins cher).

Conclusion générale et perspectives

En définitive, l'énergie solaire est disponible en abondance dans la région de Maradi, ce qui nous a conduit à une étude du gisement solaire, sur l'énergie solaire, sur les généralités des cellules solaires photovoltaïques et sur la température de la zone. Avec un comportement identique à celui d'une photopile, le module photovoltaïque est sensible à la chaleur. La température est un paramètre qui influence la production courant-tension du module photovoltaïque de ces différentes technologies (cellule mono et polycristalline). Avec une température maximale proche de 45°C enregistrée en avril 2019 et une température proche de 33°C en moyenne en 2019, la région de Maradi est une zone bien ensoleillée, les rayonnements solaires tapent forts et sont responsables d'élévation de la température dans cette zone, bien qu'une infime partie de chaleur est due à un réchauffement globale de la planète. La position géographique de la ville de Maradi a aussi joué un rôle important. Dans la présente étude, nous avons constaté une faible puissance au niveau de module monocristallin AP-PM 100 dans l'ensemble suite à la chaleur du lieu et une puissance moyenne au niveau des modules polycristallins SA-80 que nous avons installés.

Il ressort de cette étude que la température de cette zone influence beaucoup la production du module monocristallin et agit peu sur les modules polycristallins, et par conséquent cette température agit sur les performances des modules aux cellules monocristallines, de plus un angle d'inclinaison de 15° est meilleur pour un système fixe sud-Est et un angle d'inclinaison 30° pour un système en mouvement (suiveur solaire). Les résultats de simulation avec Matlab ont aussi confirmé l'influence de la chaleur sur les modules photovoltaïques (voir annexe).

En perspectives, nous proposons de poursuivre une étude dans le sens de diminuer la chaleur du panneau solaire photovoltaïque sur les deux méthodes que nous avons proposées ou sur un système photovoltaïque combiné avec un système thermique (la chaleur du panneau sera récupérée et utilisée par d'autre système comme un chauffe-eau solaire) qui jouera deux fonctions : la production du courant et la production d'eau chaude.

Référence bibliographique

- [1] Hassina Derbal-Habak «Cellules solaires photovoltaïques plastique nanostructures». universite d'angers 2009 N° 929
- [2] CRDP de Basse-Normandie - thém@doc - Les énergies renouvelables, c'est quoi? Énergie solaire. [En ligne] : <http://www.crdp.ac-caen.fr/energies/Soleil.htm>''consulté le 11/08/2019.
- [3] Cours (Master 2 ; 2SED) de docteur Abouzeidi Dan Maza UDDM, Thermique solaire, 2017''29p
- [4] A. Ricaud, Photopiles solaires, 1ère édition, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1997''332p
- [5] Salaheddine Bensalem, Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires, mémoire Master, Soutenu le : 06/01/2011 67p.
- [6] Ouad Saadi « Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan ». Mémoire de magister en Physique, Université Mentouri de Constantine, 2010.''130p
- [7] H. Lacombe, Les énergies de la mer, 1ère édition, presse universitaires de France, Paris,1968''.67p
- [8] [http:// herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm](http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm)'' consulté le 09/08/2019
- [9] SCA7002 physique de l'atmosphère Rad-2.1'' docplayer.fr consulté 09/10/2019.
- [10] Ekkouche Sidi Mohammed El Amine « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires ». Thèse de doctorat en Physique, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2009.186p
- [11] [Http ://fr.m.wikipedia.org/wiki/Mayahi_\(d%C3%A9partement\)](http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Mayahi_(d%C3%A9partement)) consulté le 13/09/2019.
- [12] Google Maps (Logiciel GPS Arrow Pro Latitude : 13.491884°, Longitude :7.138336°, Altitude : 433m, Précision : 7m, Temps UTC : 15 H : 59mn :29s, Date UTC : 14-10-2019, Vitesse du vent inférieur à 5km/h)
- [13] www.historique-meteo.net/afrique/niger/maradi/2018/, consulté le 17/09/2019
- [14] www.historique-meteo.net/afrique/niger/maradi/2019/, consulté le 17/09/2019
- [15] Revue des énergies renouvelables Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1 (2010) p30-56.
- [16] Revue des énergie renouvelables Sciences & Technologie Article – N°41, Juin 2015, p49-54

- [17] Daniel lincot. La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. Découverte N° 344-345 janvier- février 2007 ”
- [18] H.Mathieu, "Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques", 2ème édition, Masson 1990.”92p
- [19] Sylvain BRIGAND, " Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque", complément technique Mars/Avril 2008, www.editionsdumoniteur.com, consulté le 12/10/2019.
- [20] Sylvain BRIGAND, Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque complément technique Mars/Avril 2008, et www.editionsdumoniteur.com, consulté le 12/12/2018.”
- [21] [Http://www.memoireonline.com/07/08/1433/etude-effet-temperature-parametres cellule-solaire organique.html](http://www.memoireonline.com/07/08/1433/etude-effet-temperature-parametres-cellule-solaire-organique.html), consulté le 14/10/2019.
- [22] Angel cid pastor “conception et la réalisation des modules photovoltaïques électroniques”Thèse de Docteur. Institut Nationale des sciences appliquées de toulouse 2006 146p.
- [23] B. Chaouki, B. Tarek "Optimisation floue neuronale et génétique d'un système photovoltaïque connecté au qswréseau", Mémoire d'ingénieur. Univ. Biskra, 2007.”94p
- [24][Http://www.photovoltaique.info/Lexique.html?id_mot=18#Cellulephotovoltaque](http://www.photovoltaique.info/Lexique.html?id_mot=18#Cellulephotovoltaque). ”consulté le 14/11/2019.
- [25] [Http://lepetithommevert.com/5-raisonsdinvestir-dans-les-panneaux-solairephotovoltaiques](http://lepetithommevert.com/5-raisonsdinvestir-dans-les-panneaux-solairephotovoltaiques) consulté le 15/10/2019.
- [26] kassewa Tchapo Singo « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome ». Thèse de doctorat, Université de Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.158p.
- [27] [http : //www.researchgate.net/figure/La-composition-dun-système-pv-raccorde-aureseau-electrique/](http://www.researchgate.net/figure/La-composition-dun-système-pv-raccorde-aureseau-electrique/), consulté 14/10/2019.
- [28] Helali Kamelia, Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative, Mémoire de magister en electrotechnique 106p.
- [29] K. Bouzidi, M. Chegaar, A. Bouhemadou, Solar Energy Materials and Solar Cells, 91 (2007) p1647–1651.
- [30] Mostfaoui Aiha, Indication des paramètres électriques d'un panneau photovoltaïques en utilisant les algorithmes génétiques, mémoire Master soutenu en septembre 2018 60p.

Annexe

