



Université Saâd Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables



Thème :

**Dimensionnement et Étude technico-économique
d'un système photovoltaïque autonome pour
l'alimentation électrique d'une école (CEM) à
Bordj Bou Arreridj**

Par :

KHAMAL AHMED DHIYA EDINE ANIS

SOUILAH ABDELKRIM

Pour l'obtention du diplôme :

MASTER en Énergies Renouvelables

Option : Habitat Bioclimatique

Soutenu publiquement le : 9 OCTOBER 2022

Devant le Jury composé de :

MR. SEMMAR DJAFFAR	P_r	Université BLIDA 1	Président
Mme. CHEOUCHI	MAA	Université BLIDA 1	Examineur
MR. GUENOUNOU ABDERREZAK	MCA	Université BLIDA 1	Promoteur

Résumé

L'énergie est aujourd'hui plus que jamais un enjeu prioritaire au sein de la société. Les paradigmes définis dans le passé dans la production énergétique tentent d'évoluer vers une production verte, reléguant les énergies fossiles au passé. Dans ce cadre, que nous avons réalisé ce travail sur la production de l'énergie électrique de manière autonome pour alimentation d'un CEM à la commune d'El-Hamidia, willaya de Bordj Bou Arreridj, à partir de l'énergie solaire en utilisant un système photovoltaïque autonome.

Mots clés : Energie, photovoltaïque, système PV, autonome, dimensionnement.

Abstract

Energy is today more than ever a priority issue in society. The paradigms defined in the past in energy production are trying to evolve towards a green production, relegating fossil fuels to the past. In this context, we have carried out this work on the production of electrical energy autonomously to supply a CEM in the town of El-Hamidia, willaya of Bordj Bou Arreridj, from solar energy using an autonomous photovoltaic system.

Keywords: Energy, photovoltaic, PV system, autonomous, sizing

ملخص

أصبحت الطاقة الآن أكثر من أي وقت مضى قضية ذات أولوية في المجتمع. نحاول النماذج التي تم تحديدها في الماضي في إنتاج الطاقة أن تتطور نحو الإنتاج الأخضر ، وإبعاد الوقود الأحفوري إلى الماضي. وفي هذا السياق قمنا بتنفيذ هذا العمل الخاص بإنتاج الطاقة الكهربائية بشكل مستقل لتزويد مدرسة ببلدية الحميدة بولاية برج بوعريريج من الطاقة الشمسية باستخدام نظام نلطاوي ضوئي مستقل.

الكلمات المفتاحية : الطاقة ، الكمر وضوئية ، النظام الكمر وضوئي ، مستقل ، النسخة.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments.

Mon frère Raouf.

Toute ma famille.

Mon binôme.

Mes ami(e)s.

Toutes les personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études.

La mémoire de tous les êtres chers que j'ai perdus.

Khamal ahmed dhiya edine anis

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments.

Mes chers frères et soeurs :

leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mes chers amis.

Souilah abdelkrim

Remerciements :

Avant tout nous remercions notre **DIEU** de nous avoir donné la force et le courage. Nous remercions notre promoteur Monsieur **A.GUENOUNOU**, d'avoir dirigé ce travail en nous prodiguant conseils et encouragements, qu'il trouve ici notre reconnaissance pour sa patience et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier le président ainsi que les membres de jury, qui ont accepté d'examiner et de corriger notre travail.

Nous remercions les enseignants du département d'énergies renouvelables , qui ont participé à l'aboutissement de nos études.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous ceux et celles qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration et la finalisation de ce mémoire.

Sommaire

Résumé	I
Dédicaces	II
Dédicaces	III
Remerciements.....	IV
Acronymes et Unités	XI
Liste des Figures	XII
Liste des Figures.....	XIII
Liste des Tableaux.....	XV
Introduction générale.....	XVI
Introduction général	1
CHAPITRE 1	3
Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque	3
1-1 Introduction.....	4
1.2 Définition d'une énergie renouvelable	4
1.3.1 L'énergie solaire	5
1.4.1 L'énergie solaire thermique	5
1.5..1 L'énergie solaire photovoltaïque	6
I.6 Variation de l'énergie solaire.....	7
I.6.1. Effet de la nébulosité	7
I.6.2. Effet lié aux saisons.....	8
I.6.3. Hauteur maximale du soleil à midi vrai.....	9
I.7. le rayonnement solaire.....	9
I.7.1. Mesure du rayonnement solaire	10
I.7.1.1. Le Radiomètre.....	10
I.7.1.2. Le Pyranomètre	10
I.7.1.3. Le Pyrhéliomètre.....	11
I.8. Les différents types du rayonnement solaire	11
I.8.1. Le rayonnement direct	11
I.8.2. Le rayonnement diffus	12
I.8.3. Le rayonnement dû à L'albédo ou réfléchié	12

I.9. Cellule solaire photovoltaïque	12
I.9.1. Description de la cellule photovoltaïque	12
I.9.2. Structure d'une cellule photovoltaïque	13
I.9.3. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque	13
I.9.4. Les types de cellules photovoltaïques	14
I.9.4.1. La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin	14
I.9.4.2. La cellule photovoltaïque en silicium Poly cristallin	15
I.9.4.3. La cellule au silicium Amorphe	15
I.10. Le module photovoltaïque	16
I.10.1. Constitution d'un module de photovoltaïque	16
I.10.2. Association en série et en parallèle	17
I.10.2.1. Mise en série	17
I.10.2.2. Mise en parallèle	18
I.11. Modélisation d'une cellule photovoltaïque	18
I.11.1. Modèle à une diode	18
I.11.2. Modèle à deux diodes	19
I.12. Les Paramètres des cellules photovoltaïques	20
I.12.1. Courant de court-circuit, (ICC)	20
I.12.2. Tension à circuit ouvert, (VCO)	20
I.12.3. Puissance maximale (Pmax)	20
I.12.4. Facteur d'idéalité (FQ)	21
I.12.5. Facteur de forme (FF)	21
I.13. Caractéristiques du module photovoltaïque	21
I.13.1.1. Caractéristiques courant-tension	21
I.13.1.2. Zones de fonctionnement du module photovoltaïque	21
I.13.2. L'influence de l'éclairement et de température	22
I.13.2.1. L'influence de l'éclairement	22
I.13.2.2. Influence de la température	23
I.14. Les différents défauts des systèmes photovoltaïques	23
I.14.1. Défaut de mismatch et d'ombrage	24
I.15. Définition d'un système photovoltaïque (PV)	25
I.16. Classification des systèmes PV	26
I.16.1. Systèmes autonomes	26
I.16.2. Définition	26

1.16.3 Types de systèmes PV autonomes	27
A) Les systèmes au fil du soleil.....	27
1.17 Systèmes PV à injection aux réseaux	28
1.17.1 Définition d'un système PV raccordé au réseau.....	28
1.18 Classes des systèmes raccordés aux réseaux	29
A) Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque)	29
B) Systèmes à petite puissance ou systèmes décentralisés	29
C) Systèmes à Injection du surplus.....	30
D) Systèmes à injection de la totalité.....	30
1.19 Constitution des champs PV	30
1.20 Energies renouvelable en Algérie.....	31
1.20.1 Programme national des énergies renouvelables	31
1.20.2 Développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables au niveau des collectivités	32
I.21. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV	33
I.21.1. Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque.....	33
I.21.2. les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque	33
1.22 Conclusion.....	34
Chapitre 2.....	35
Systèmes photovoltaïques autonomes, présentation et dimensionnement	35
II. 1 Introduction	36
II 2 Description d'un système photovoltaïque autonome	36
1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	36
II 2.1. Les composants d'un système photovoltaïque autonome.....	36
II 2.2 Générateur photovoltaïque.....	37
II 2.3. Le régulateur	37
II 2.4 L'onduleur	37
II.2.5 Les batteries	37
II .3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.....	38
II 3.1 Calcul du besoin en énergie	38
II 3.2 Évaluation du gisement solaire	38
II 3.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque	39
1. Formule de calcul de la puissance crête photovoltaïque	39
2. Application de la formule de calcul de la puissance crête PV.....	40

II 3.4 Dimensionnement des batteries	41
1. Choix de la tension du parc de batteries	41
2. Calcul de la capacité du parc de batteries	42
II 3.5 Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur	42
1 Dimensionnement du Régulateur	42
2. Dimensionnement de l'Onduleur	43
II 3.6 Dimensionnement des câbles.....	43
1. Courant admissible des câbles.....	43
2. Chute de tension dans une installation photovoltaïque	44
II.8 Conclusion.....	45
Chapitre 3.....	46
Etude technico économique d'un projet photovoltaïque autonome pour une école à Bordj Bou Arreridj.....	46
III Introduction.....	47
III 1 Le projet photovoltaïque du CEM Sahed Mohamed de Bordj Bouararij	47
III .1.1 Description du projet.....	47
III 2 Données géographique et météorologique du site du projet	48
III.2.1 Simulation avec le logiciel PVsyst	48
III 2.2 Situation géographique du site.....	48
III .2.3 Données météorologique du site.....	49
A. Trajectoire du soleil	49
B. Orientation, inclinaison et caractéristique de la structure porteuse des panneaux solaires	50
III.2.4 Consommation journalière de l'utilisateur	52
III.2.5 Système Panneaux solaires et Régulateur	53
III.2.6 Système batteries solaires.....	55
III.3 Résultats finaux	56
III.3.1 Résultats de la simulation et discussions.....	59
III.3.2 Diagramme des pertes	60
III.4 Etude technico économique	62
III.4.1 Estimation du prix de notre installation photovoltaïque autonome	62
III.4.2 durée de vie de system	63
III.5 Conclusion	64
Conclusion Générale	65
Conclusion Générale	66

Références Bibliographiques67

Acronymes
et
Unités

Acronymes et Unités

AC: Alternatif curent (courant alternatif)

Ah : Ampères heures (unité de la capacité).

DC : Direct curent (Courant continu)

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

m/s : Mètre par seconde (unité de la Vitesse).

η : Rendement, en %.

PVsyst: Photovoltaïque système.

PV : Photovoltaïque

TVA : Taxe sur la valeur ajoutée

W : Watts (unité de la puissance)

Wc: Watts Crète

Wh: Watts heures, (unité de l'énergie).

W/m²: Watts par mètre au carré, (puissance sur une surface)

VAC : Volt en courant alternatif

VDC : Volt en courant continue

STC : Standard Test Conditions.

R : résistance du câble

I: Courant de circulation

V : Volt

Ec : Energie consommée (Wh)

Icc : courant court-circuit

Liste des Figures et tableaux

Liste des Figures

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

Figure 1.1 Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire

Figure 1.2 coupe d'un capteur solaire thermique plan

Figure 1.3 Panneau photovoltaïque

Figure 1.4 Rayonnement en fonction de la météo

Figure I. 5: Trajectoire annuelle et journalière du soleil (hémisphère nord)

Figure I. 6: Le mouvement de la Terre autour du Soleil

Figure I. 7: Hauteur maximale du soleil à midi vrai

Figure I. 8:Le Radiomètre

Figure I. 9: Le Pyranomètre

Figure I. 10 :Le Pyrhéliomètre

Figure I.11:Le rayonnement direct sur une surface inclinée

Figure I. 12:Composantes du rayonnement solaire

Figure I. 13:Synoptique d'une cellule solaire

Figure I. 14: formes des cellules solaires

Figure I. 15: Cellules monocristallines

Figure I. 16: Cellules Poly cristallines

Figure I. 17:Cellule Photovoltaïque amorphe

Figure I. 18: Composition du module photovoltaïque

Figure I. 19: Association en série et en parallèle des module PV

Figure I. 20 : Mise en série des panneaux solaires

Figure I. 21: Mise en parallèle des panneaux solaires

Figure I. 22:Schéma équivalent du modèle à une diode

Figure I. 23:Schéma équivalent du modèle à deux diodes

Figure I. 24: Simulation d'un module PV

Figure I. 25: Caractéristiques (IV,PV) du module photovoltaïque

Figure I. 26: zones de fonctionnement du module photovoltaïque

Figure I. 27: Influence de l'éclairement solaire

Figure I. 28: Influence de la température

Figure I. 29: Influence de l'ombrage sur les caractéristiques (I-V) et (P-V)

Figure I. 30 Système photovoltaïque

Figure I. 31 Système photovoltaïque plus détaillé

Figure I. 32 Schéma d'un système autonome

Figure I. 33 Système de pompage pv

Figure I. 34 Injection partielle

Figure I. 35 Injection totale

Figure I. 36 Installation solaire a injection au reseau avec deux compteurs d'energie

Figure I. 37 Constituants d'un generateurs pv

Figure I. 38 Constituants d'un module photovoltaïque (Si cristallin)

Figure 1.39 : Consommation des communes par activité - année 2017-(GWH)

Chapitre 2 : Dimensionnement et présentation d'un système photovoltaïque autonome

Figure 2.1. Différents éléments d'un système photovoltaïque autonome

Chapitre 3 : Etude techno économique d'un projet photovoltaïque autonome pour une école a bourdj bouarreridj

Figure.3.1 : La vue avant de l'école

Figure.3.2 :L'espace interne de l'école (la cour du CEM)

Figure 3.3 : Vue de satellite du lieu (CEM Sahad Mohamed)

Figure 3.4 Irradiation Global Horizontal (IGH)et température ambiante au s.ol CEM Sahed Mohammed

Figure 3.5: Trajectoire du soleil à Sahed Mohammed, El-Hamadia

Figure 3.6 Schéma de Structure sur le toit

Figure 3.7 Paramètres d'orientation et d'inclinaison des panneaux solaires

Figure 3.8 Consommation journalière de l'utilisateur

Figure 3.9 Nombre de module PV et le type de régulateur de notre système

Figure 3.10 Nombre de batteries de notre système sans tenir compte de la profondeur de .décharge

Figure 3.11 Diagramme d'entrée/sortie journalier de notre système

Figure 3.12 Diagramme des pertes du système sur l'année entière

Liste des Tableaux

Chapitre 2 : Dimensionnement et présentation d'un système photovoltaïque autonome

Tableau 2.1 : Valeur du Ratio de Performance PR en fonction de la ventilation des modules

Tableau 2.2 : Température de fonctionnement des batteries

Introduction générale

Introduction général

La production d'énergie est un défi majeur pour les années à venir, car l'énergie est un facteur essentiel au développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles à savoir, le pétrole, le gaz et charbon. Malheureusement, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet des serres et donc une augmentation de la pollution. Un autre danger réside dans le fait que la consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières.

Ces défis ont insisté les gouvernements à s'intéresser aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement.

L'une des premières solutions des énergies renouvelables c'est l'énergie solaire. En effet, plusieurs études scientifiques prouvent qu'une partie de rayonnement qui nous provient du Soleil pourrait, en théorie, suffire à couvrir tous les besoins énergétiques de l'humanité.

En plus, le générateur photovoltaïque (PV) lui-même ne contient, généralement, aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient bien pour plusieurs types d'utilisations [1].

Dans ce contexte, et pour réduire la facture d'électricité qui pèse lourdement sur le budget des communes, le ministère de l'Intérieur et des Collectivités locales a mis en place, en février 2018, un plan d'action pour "le développement territorial des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique" concernant l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage public, les écoles et les mosquées, et ce pour réduire la facture d'électricité, réduire la pollution et conserver les énergies fossiles [1].

Dans cette optique, notre projet consiste à l'étude et le dimensionnement d'une installation photovoltaïques pour l'alimentation électrique totale de l'école CEM Sahed Mohamed, sise à la commune de Elhamadia , Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque.
- Dans le deuxième chapitre nous allons décrire les systèmes photovoltaïques autonomes et la technique utilisée pour leur dimensionnement.
- Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement et à l'étude technico-économique d'un projet de système photovoltaïque autonome alimentant une école (CEM) sis dans la wilaya de Bordj Bouararidj.

En conclusion, une synthèse des résultats de cette étude est présentée.

CHAPITRE 1 :

Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

1-1 Introduction

Dans ce chapitre, après une brève présentation des énergies renouvelables, nous présenterons les notions de base concernant l'énergie solaire photovoltaïque en commençant par le rayonnement solaire. Nous aborderons, entre autres, les technologies photovoltaïques, les propriétés électriques des générateurs photovoltaïques, la modélisation mathématique et la simulation des caractéristiques courant-tension afin d'étudier leur comportement en fonction de la température et de l'éclairement et nous terminerons par un aperçu sur les défauts pouvant survenir dans les panneaux solaires.

1.2 Définition d'une énergie renouvelable

Les énergies renouvelables sont issues de l'activité du soleil sous forme de rayonnement direct (énergie solaire), par les cycles renouvelés de l'eau (énergie hydraulique), du vent (énergie éolienne) ou encore de la biomasse (bois, biogaz, biocarburants). L'énergie peut également venir de la chaleur de la Terre (géothermie) [2].

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituera les plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies tirées des combustibles fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel. Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine. Les énergies renouvelables sont également désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres ». Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies des entreprises en matière de développement durable.

1.3.1 L'énergie solaire

Le rayonnement solaire émet à la surface de la Terre une énergie de 2 à 3 kWh par. Cette dernière est loin d'être négligeable, et est donc mise à contribution dans le solaire thermique et le solaire photovoltaïque [2] Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la figure 1.1

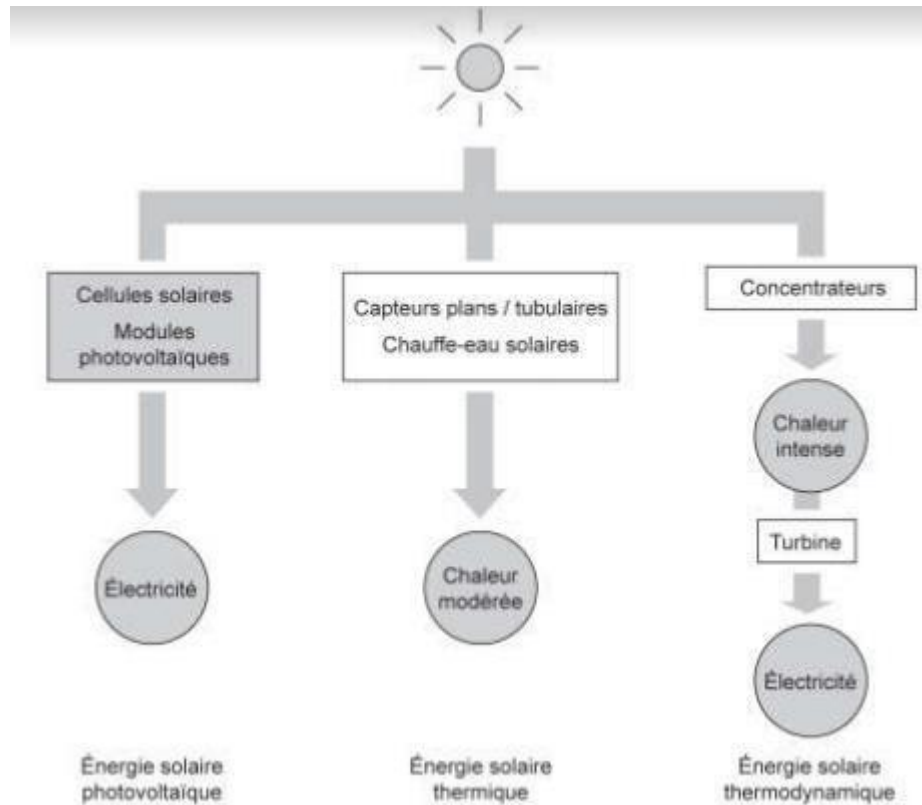


Figure 1.1 Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire [3].

1.4.1 L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire :

- en usage direct de la chaleur : chauffe-eau et chauffages solaires, cuisinières et sécheuses solaires ;
- en usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : rafraîchissement solaire, dessalement, etc.

De fait, elle est utilisée principalement pour le chauffage de l'eau ou des locaux. On utilise pour cela des capteurs thermiques. Il en existe plusieurs catégories mais le principe est toujours le même : le capteur thermique absorbe les photons solaires et les transforme en

chaleur. Celle-ci est ensuite transmise à un liquide ou à un gaz (dit « caloporteur ») qui la transporte vers un réservoir de stockage de chaleur [4] comme l'indique la figure 1.2.



Figure 1.2 coupe d'un capteur solaire thermique plan [4]

1.5.1 L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron. Outre les avantages liés au faible coût de maintenance des systèmes photovoltaïques, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux [5].



Figure 1.3 Panneau photovoltaïque [5]

D'autres perspectives, plus révolutionnaires, semblent devoir être exploitées, en particulier dans la filière hydrogène liée à la formidable capacité des végétaux à utiliser l'énergie solaire.

En effet, l'une des possibilités les plus séduisantes consiste à la transformer en hydrogène, un carburant propre (sa combustion ne produit que de l'eau) avec une forte densité énergétique (2,7 fois plus que le pétrole), même si son état gazeux, à température et pression ambiantes rend son stockage et son transport difficiles. Cet hydrogène sert ensuite à alimenter des piles à combustible pour produire de l'électricité. Il y a plusieurs façons d'obtenir de l'hydrogène grâce au Soleil [5].

I.6 Variation de l'énergie solaire

I.6.1. Effet de la nébulosité

En météorologie, un nuage est une masse visible constituée initialement d'une grande quantité de gouttelettes d'eau (parfois de cristaux de glace associés à des aérosols chimiques ou des minéraux) en suspension dans l'atmosphère au dessus de la surface d'une planète. L'aspect d'un nuage dépend de la lumière qu'il reçoit, de la nature, de la dimension, du nombre et de la répartition des particules qui le constituent. Les gouttelettes d'eau d'un nuage proviennent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. La quantité maximale de vapeur d'eau (gaz invisible) qui peut être contenue dans une masse d'air est fonction de la température : plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau. Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la Figure 1. 4.

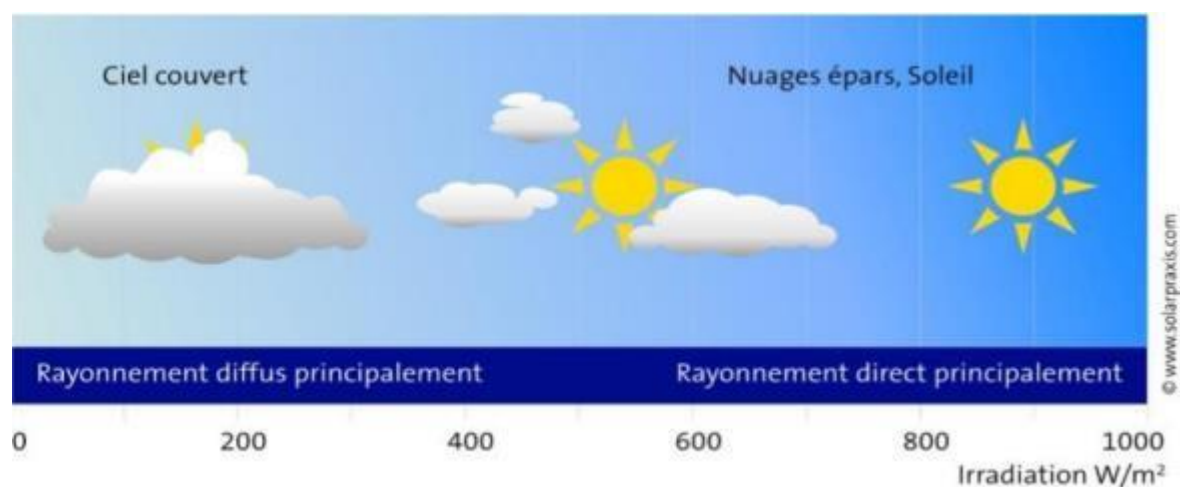


Figure 1. 4: Rayonnement en fonction de la météo [6].

I.6.2. Effet lié aux saisons

Une saison est une période de l'année qui observe une relative constance du climat et de la température. D'un point de vue astronomique, une saison correspond à l'intervalle de temps durant lequel la Terre occupe une portion de l'espace de sa révolution (rotation) autour du Soleil. C'est l'inclinaison de l'axe des pôles, combinée à la révolution de la Terre autour du Soleil, qui fait qu'il se produit une alternance des saisons ; qui proviennent de la variation d'ensoleillement induite par l'orientation changeante vis-à-vis du rayonnement solaire. Elles correspondent aux périodes qui séparent le passage de la Terre à certains points de son orbite ou, réciproquement, du Soleil à certains points de la sphère céleste, et que la mécanique céleste désigne par les équinoxes et les solstices. Pour ces raisons, à tout moment, les saisons astronomiques de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud sont diamétralement opposées [7].

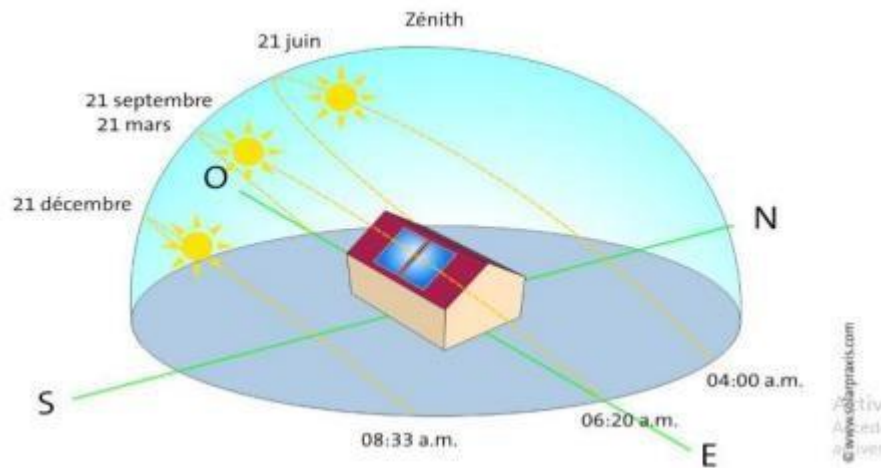


Figure I. 5: Trajectoire annuelle et journalière du soleil (hémisphère nord)

L'énergie incidente du soleil subit des variations le long de l'année, causées principalement par la clarté du ciel (rayonnement direct), ou diffus par les nuages, ainsi que la distance proche ou lointaine du sol.

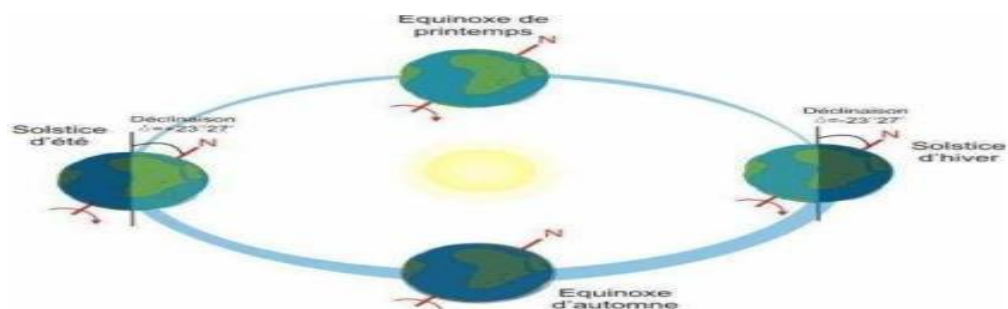


Figure I. 6: Le mouvement de la Terre autour du Soleil [8]

La terre tourne autour du soleil en décrivant une ellipse de faible excentricité (Période : 365 jours et ¼) Déclinaison solaire δ : angle entre la direction Terre - Soleil et le plan équatorial [8].

I.6.3. Hauteur maximale du soleil à midi vrai

La hauteur du Soleil est souvent assimilée à une longueur alors qu'elle désigne, en astronomie, l'angle que fait la direction de visée du Soleil avec le plan horizontal. Le Soleil se lève toujours à l'est et se couche toujours à l'ouest, dans l'hémisphère sud comme dans l'hémisphère nord. Mais la différence, c'est qu'il est vers le sud à midi quand on est dans l'hémisphère nord, et vers le nord à midi quand on est dans l'hémisphère sud [9] comme présenté par la Figure I. 7.

H max : hauteur du soleil à midi vrai

Φ : latitude du lieu

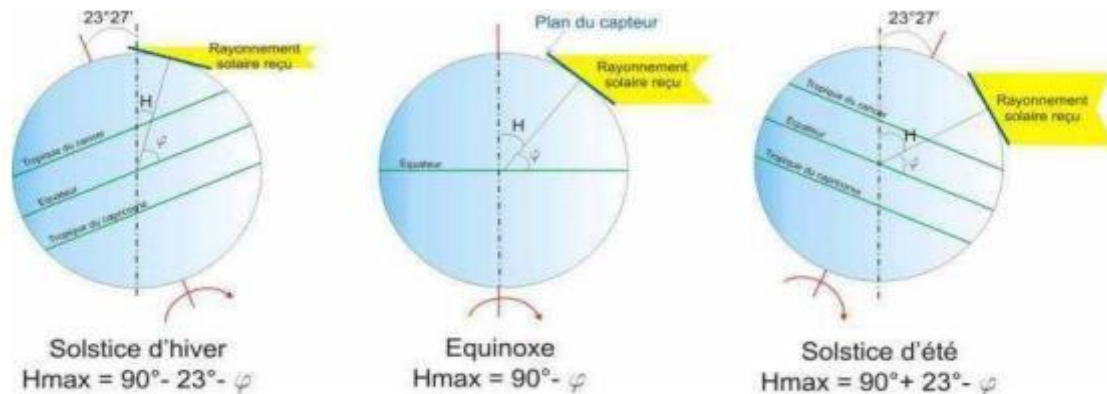


Figure I. 7:Hauteur maximale du soleil à midi vrai [9].

I.7. le rayonnement solaire

L'énergie du soleil est produite par les réactions de fusion thermonucléaires (la fusion est la réunion de plusieurs noyaux atomiques légers en un seul (4 noyaux d'hydrogène) en un noyau d'hélium) [10]. Le rayonnement solaire peut être décomposé en trois éléments dont la proportion est variable suivant le lieu et le moment : rayonnement direct, dif fus, l'albédo et global.

I.7.1. Mesure du rayonnement solaire

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol, on peut utiliser les instruments suivants [10].

I.7.1.1. Le Radiomètre

Le radiomètre est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin [10].



Figure I. 8:Le Radiomètre [10].

I.7.1.2. Le Pyranomètre:

Le pyromètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan.

Le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au -dessus de l'instrument. [10].



Figure I. 9: Le Pyranomètre[10].

I.7.1.3. Le Pyrhéliomètre:

Le pyrhéliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale. [10].



Figure I. 10 : Le Pyrhéliomètre [10].

I.8. Les différents types du rayonnement solaire :

I.8.1. Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil sans diffusion par l'atmosphère [10]. C'est lui qui nous aveugle lorsque on cherche à regarder le soleil "droit dans les yeux" par temps découvert. [10].

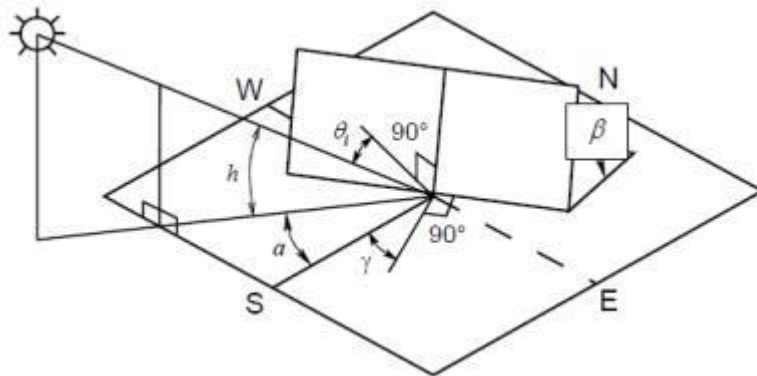


Figure I.11:Le rayonnement direct sur une surface inclinée [10].

I.8.2. Le rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est constitué de la lumière diffusée par les molécules de l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions [10]. C'est lui qui nous donne la « lumière du jour » qui nous permet de voir clair même quand le temps est couvert.

I.8.3. Le rayonnement dû à L'albédo ou réfléchi

Il dépend de l'environnement du site [10], il résulte de la réflexion du rayonnement solaire direct par le sol, qui est d'autant plus important que la surface est claire et réfléchissante (neige, étendue d'eau, ...). Il peut nous faire attraper des coups de soleil à la montagne ou à la mer sans qu'on les sente venir. Le sol reçoit du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

Le rayonnement global est la somme de ces trois types de rayonnement diffus, le rayonnement direct et l'albédo [10], comme présenté par la figure 1.12:

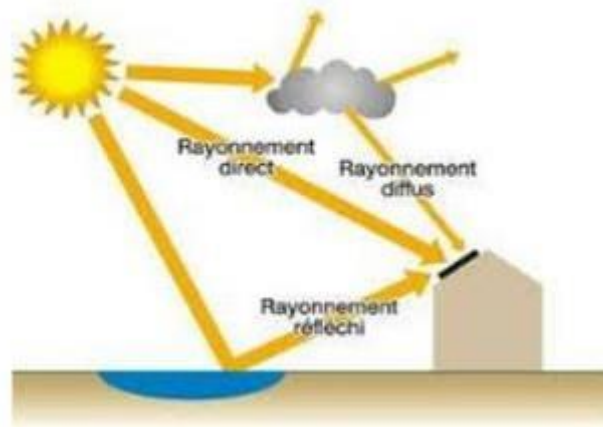


Figure I. 12: Composantes du rayonnement solaire [10]

I.9. Cellule solaire photovoltaïque

I.9.1. Description de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est l'élément fondamental de la conversion photovoltaïque. En effet, cette cellule qui est exposée à la lumière (photons), transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La photopile délivre une tension variable entre 0V et 0.7V [10], elle

dépend des propriétés des matériaux utilisés et de la température. Nous allons ici présenter la structure et le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.9.2. Structure d'une cellule photovoltaïque

La cellule solaire est réalisée en suivant les étapes suivantes : La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopée N. Dans cette couche, il existe une quantité d'électrons libres supérieure à une couche de silicium pur, d'où l'appellation de dopage N, comme négatif (charge de l'électron). Le matériau reste électriquement neutre : c'est le réseau cristallin qui supporte globalement une charge positive. La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé P. Cette couche possèdera donc en moyenne une quantité d'électrons libres inférieure à une couche de silicium pur. Les électrons sont liés au réseau cristallin qui, en conséquence, est chargé positivement. [10] La conduction électrique est assurée par des trous, positifs (P), comme illustré sur la figure 1.13 suivante.

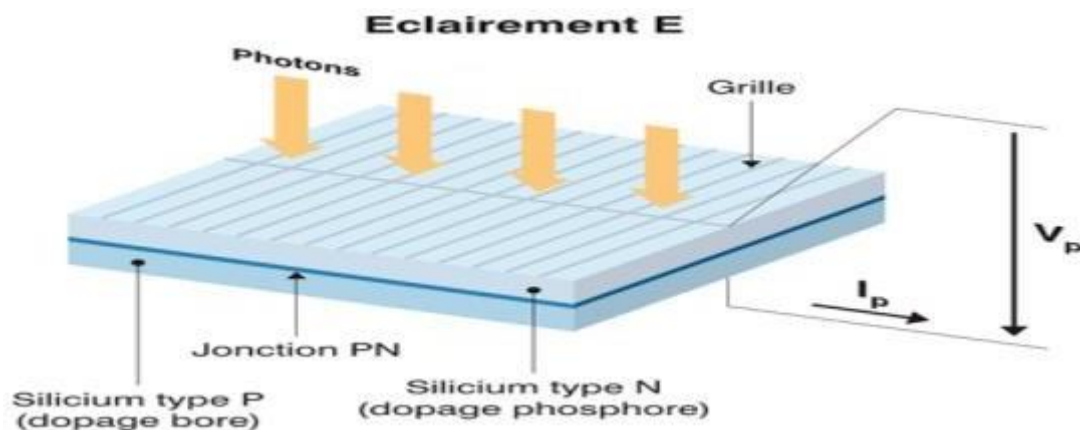


Figure 1. 13:Synoptique d'une cellule solaire [10]

I.9.3. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque fonctionne grâce au rayonnement solaire. Pour générer de l'électricité, elle fait appel à l'effet photovoltaïque qui est obtenu à la suite du choc des photons issus de la lumière solaire sur un matériau semi-conducteur. Ce dernier transmet l'énergie des photons aux électrons qui vont alors créer la tension électrique. Voici le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [11].

I.9.4. Les types de cellules photovoltaïques

Les photopiles au silicium cristallin sont plus répandues [11]. Elles se présentent sous forme de plaquettes rondes, carrées ou pseudo carrées. Si l'on parle de matériaux cristallin, c'est parce que le silicium a les propriétés d'un cristal, avec un arrangement parfait des atomes. la figure 1.14 Présenté formes des cellules solaires

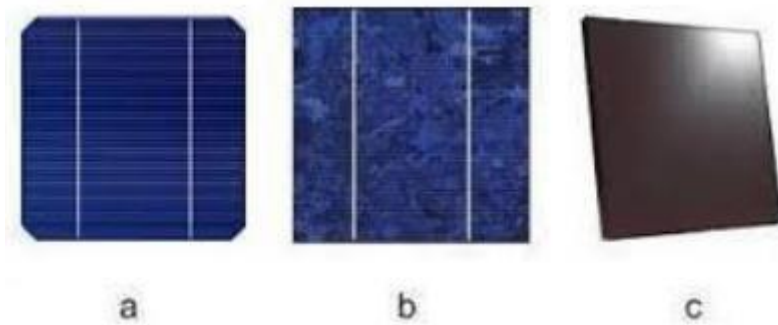


Figure I. 14:formes des cellules solaires [11].

I.9.4.1. La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

Ce type de cellule photovoltaïque est l'une des plus répandues. Elle est obtenue à partir de silicium monocristallin, appliqué en une tranche simple. Elle permet de composer des panneaux solaires qui vont produire de l'électricité servant à alimenter une habitation ou le réseau public, par exemple. Le silicium monocristallin est le résultat du refroidissement du silicium fondu. Une fois solidifié, il se transforme en un cristal uniforme qui est découpé en tranches fines afin de former la cellule photovoltaïque. La couleur de ce matériau est bleue, sans trace de cristaux ou autres [12]. comme présenté par la figure 1. 15



Figure 1. 15:Cellules monocristallines

I.9.4.2. La cellule photovoltaïque en silicium Poly cristallin

Facilement reconnaissable grâce à ses cristaux bleus, cette cellule photovoltaïque se compose d'une seule tranche de silicium. Elle est de forme carrée. On la trouve souvent dans les installations domestiques, agricoles ou industrielles. Pour obtenir du silicium poly cristallin, on fait fondre le silicium dans un moule métallique carré et allongé, appelé lingotière. Le coloris de ce type de cellule est bleu et parsemé de motifs laissés par les cristaux. Cette particularité nous permet de reconnaître facilement cette cellule photovoltaïque. [12] comme présenté par la figure 1. 16

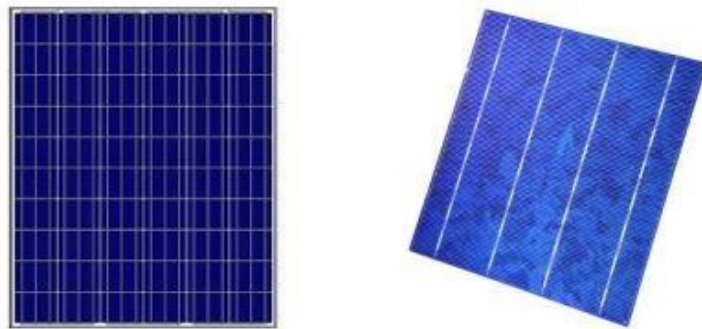


Figure I. 16:Cellules Poly cristallines

I.9.4.3. La cellule au silicium Amorphe

La cellule photovoltaïque au silicium amorphe est composée d'une couche fine de silicium, bien plus fine que les monocristallines ou les poly cristallines. On la trouve essentiellement pour alimenter les appareils de faible puissance, comme les montres solaires, les éclairages de jardin ou encore les calculatrices solaires. Le silicium amorphe est obtenu à partir de gaz de silicium. Ce gaz est vaporisé sur un support, en verre, en plastique souple ou en métal, grâce à un procédé de projection sous vide [12]. Ces cellules photovoltaïques sont grises foncé comme présenté par la figure 1. 16.

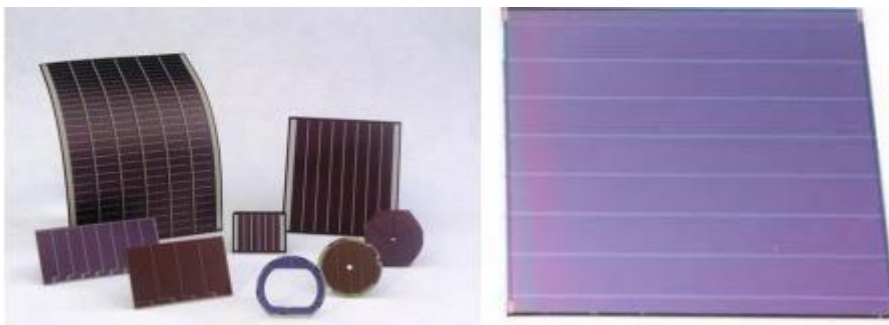


Figure I. 17:Cellule Photovoltaïque amorphe

I.10. Le module photovoltaïque

I.10.1. Constitution d'un module de photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de six éléments [13]:

- _ Cadre en aluminium.
- _ Joint pour fixer le module.
- _ Verre : pour la protection du module.
- _ Couche de l'EVA (EVA: éthylène-acétate de vinyle) : pour résister aux intempéries et à l'humidité.
- _ Cellules photovoltaïques.
- _ Feuille de Tedlar blanc : pour plus de résistance mécanique des grands modules

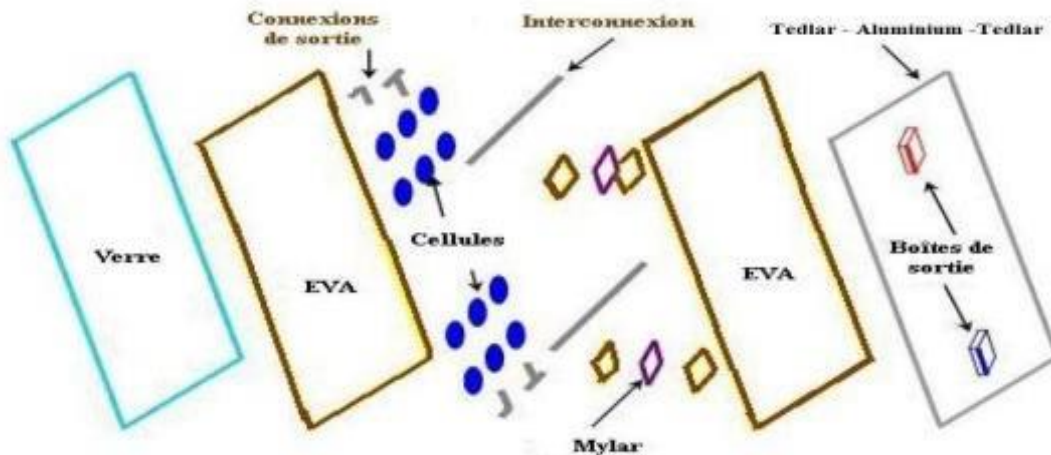


Figure I. 18: Composition du module photovoltaïque [13]

I.10.2. Association en série et en parallèle

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle pour construire le champ photovoltaïque afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière,...etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente [13].

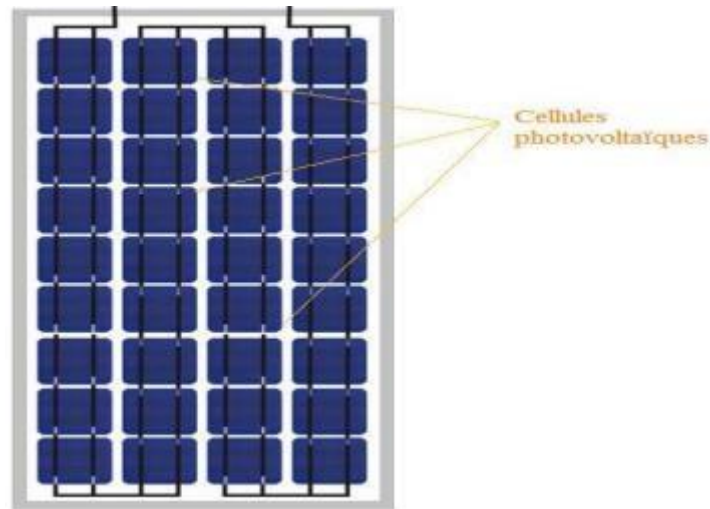


Figure I. 19: Association en série et en parallèle des module PV [13]

I.10.2.1. Mise en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

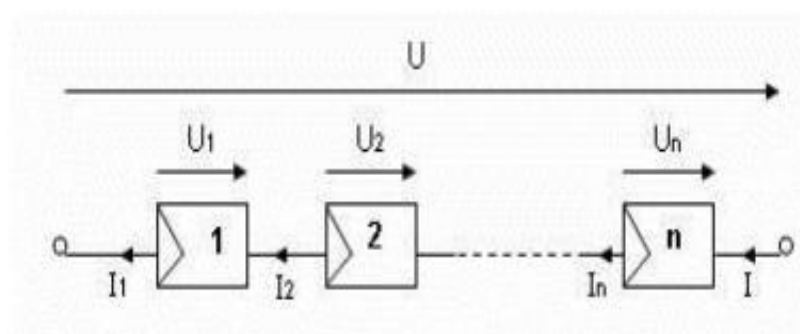


Figure I. 20: Mise en série des panneaux solaires

I.10.2.2. Mise en parallèle

En additionnant des modules ou cellules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche

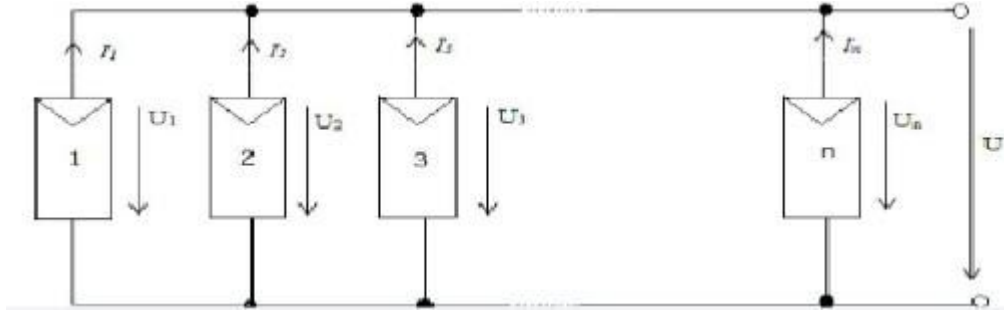


Figure I. 21: Mise en parallèle des panneaux solaires

I.11. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Pour développer un modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque, il est nécessaire de faire un choix judicieux des circuits électriques qui le constituent et de comprendre la configuration physique et les caractéristiques électriques des éléments de la cellule. Pour cela, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter le comportement non linéaire des jonctions des semi-conducteurs. Dans la suite nous présentons deux modèles d'une cellule photovoltaïque, à savoir le modèle à deux diodes et le modèle à une diode [14]

I.11.1. Modèle à une diode

La cellule photovoltaïque est représentée par le modèle « standard » à une diode. Ce modèle comporte une diode comme le montre la figure suivante :

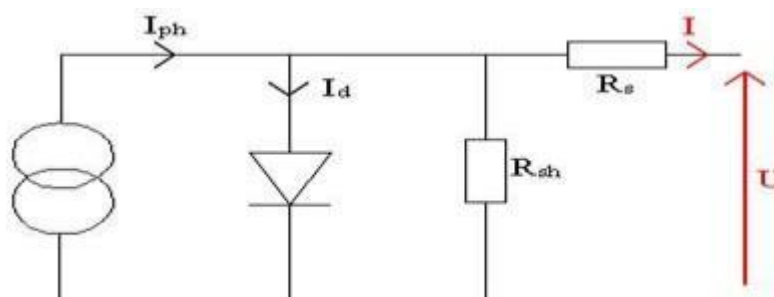


Figure I. 22: Schéma équivalent du modèle à une diode

L'expression du courant I devient alors : [14]

$$I = I_{cc} - I_d \left[e^{q \left(\frac{V+I R_s}{n K T} \right)} - 1 \right] - \frac{V+I R_s}{R_p} \dots\dots\dots 1.1$$

La résistance parallèle (Rp) est très grande par rapport à la résistance série (Rs). Ce modèle, est largement utilisé pour la modélisation.

I.11.2. Modèle à deux diodes

La figure suivante représente le circuit équivalent d'une cellule solaire, réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes de courants de saturation I01 et I02 et de facteurs de diode n1 et n2, une source de courant produisant le courant de court-circuit de la cellule qui dépend de l'éclairement solaire. la résistance série Rs tient compte de la résistivité du matériau et du contact semi-conducteur-métal. Sa valeur peut être déterminée par l'inverse de la pente de la caractéristique I(V) pour la tension à circuit ouvert Vco. La résistance parallèle Rsh traduit la présence d'un courant de fuite dans la jonction [14] : comme le montre la figure suivante

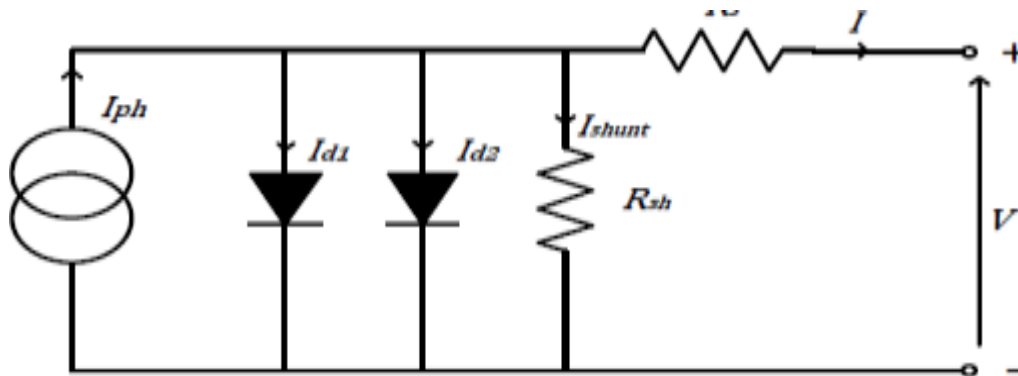


Figure I. 23:Schéma équivalent du modèle à deux diodes

1.12. Les Paramètres des cellules photovoltaïques:

Les paramètres des cellules photovoltaïques (I_{cc} , V_{co} , P_{max} , F_0 , ff et η), extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques [15].

1.12.1. Courant de court-circuit, (I_{cc}) :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$ dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température. On peut écrire:

$$I_{cc} (V = 0) = I_{ph} \dots \dots \dots 1.2$$

1.12.2. Tension à circuit ouvert, (V_{co}) :

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant de la cellule est nul. Il est lié à la résistance shunt, lorsque cette dernière n'est pas connectée ou connectée mais sa valeur est infinie [15]. La valeur de cette tension diminue avec la température et dépend de l'éclairement de la cellule

$$V_{OC} = \frac{K \cdot T_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \dots \dots \dots 1.3$$

1.12.3. Puissance maximale (P_{max}) :

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement $P_{max}(I_{max}, V_{max})$ de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{CO}) donc la puissance fournie par la cellule est donnée par le produit $(V \cdot I)$, [16]

1.12.4 Facteur d'idéalité (FQ) :

C'est un paramètre dépendant de la qualité de la diode. Il est compris entre 1 et 2.

1.12.5. Facteur de forme (FF) :

On appelle facteur de forme ff (fill-factor), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) de la cellule PV sous les conditions de mesures standardisées, et le produit $I_{cc} \times V_{co}$ [17]

1.13. Caractéristiques du module photovoltaïque

1.13.1.1. Caractéristiques courant-tension

Les figures suivantes illustrent respectivement les caractéristiques courant-tension et de puissance dans les conditions standard ($G=1000 \text{ W/m}^2$; $T=25^\circ\text{C}$). comme le montre la figure suivante

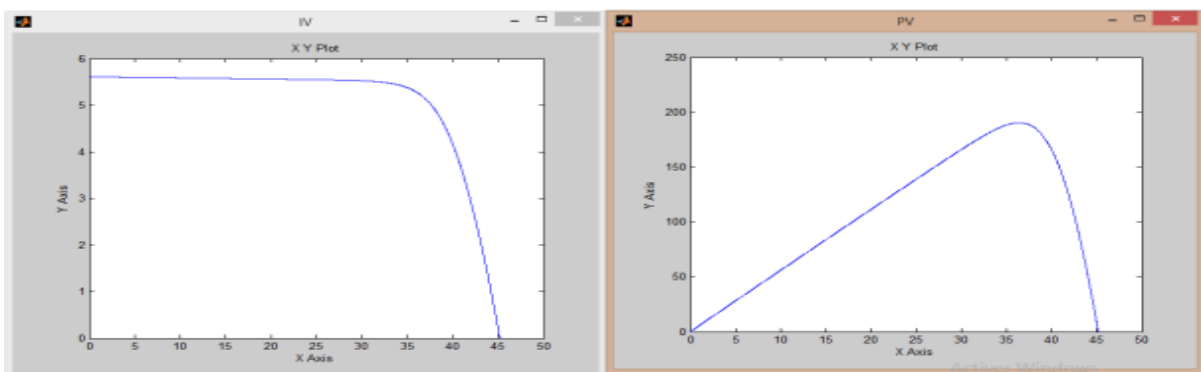


Figure I. 25:Caractéristiques (IV,PV) du module photovoltaïque

1.13.1.2.Zones de fonctionnement du module photovoltaïque

La caractéristique d'un module PV (constitué de plusieurs cellules connectées en série) a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes), cf. figure I.26.

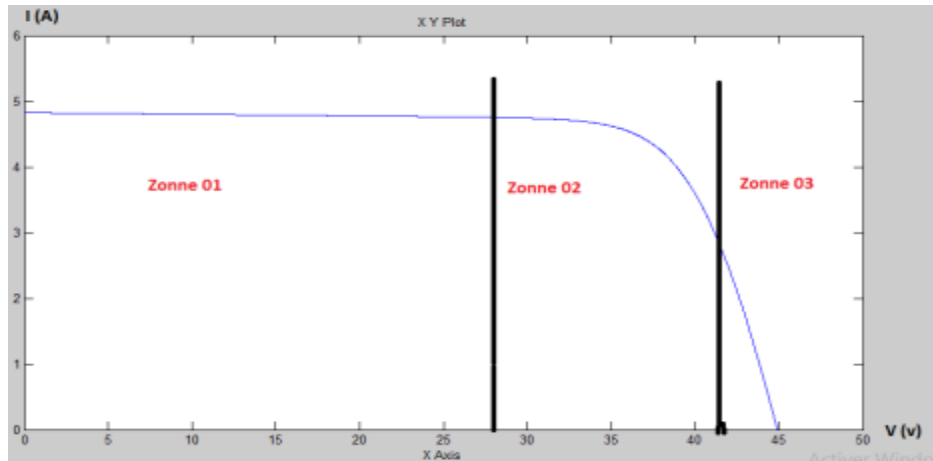


Figure I. 26: zones de fonctionnement du module photovoltaïque

Nous pouvons décomposer la caractéristique $I(V)$ d'un générateur PV en trois zones :

- _ Zone-1- : Une zone assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation n , l'admittance interne pouvant être modélisée par $1/R_{sh}$.
- _ Zone-2- : Une zone assimilable à un générateur de tension U_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s .
- _ Zone-3- : Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de R_{set} à R_{sh} .

C'est dans la zone 2 qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, caractérisé par couple (I_{max}, U_{max}) , et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées [18].

I.13.2. L'influence de l'éclairement et de température

I.13.2.1. L'influence de l'éclairement

La figure suivante représente la variation du courant par rapport à la tension pour différentes intensités lumineuses et les maximums de puissance pour chaque cas. On peut remarquer que les points de fonctionnement à puissance maximale se déplacent peu et se situent autour d'une même valeur. On peut aussi remarquer que le courant est directement proportionnel au rayonnement solaire. Par contre, la tension est relativement peu dégradée. On en déduit donc que le module peut fournir une tension correcte, même à faible éclairement [19].

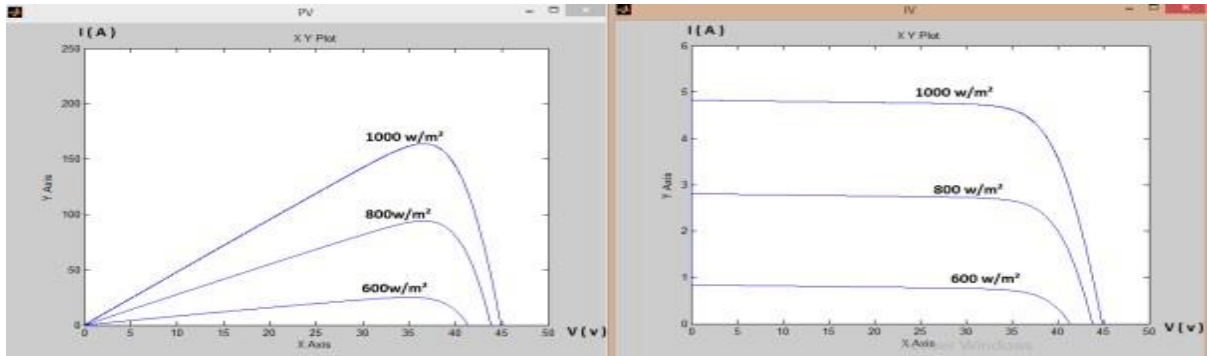


Figure I. 27: Influence de l'éclairement solaire

I.13.2.2 Influence de la température

La température a une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque. Expérimentalement, on remarque que le courant de court-circuit varie peu avec la température tandis que la tension à vide est beaucoup plus influencée (de l'ordre de $-0.4\%/K$). La température a donc une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque (perte de puissance de l'ordre de 9-15% pour une augmentation de 30°) [19], comme le montre la figure suivante

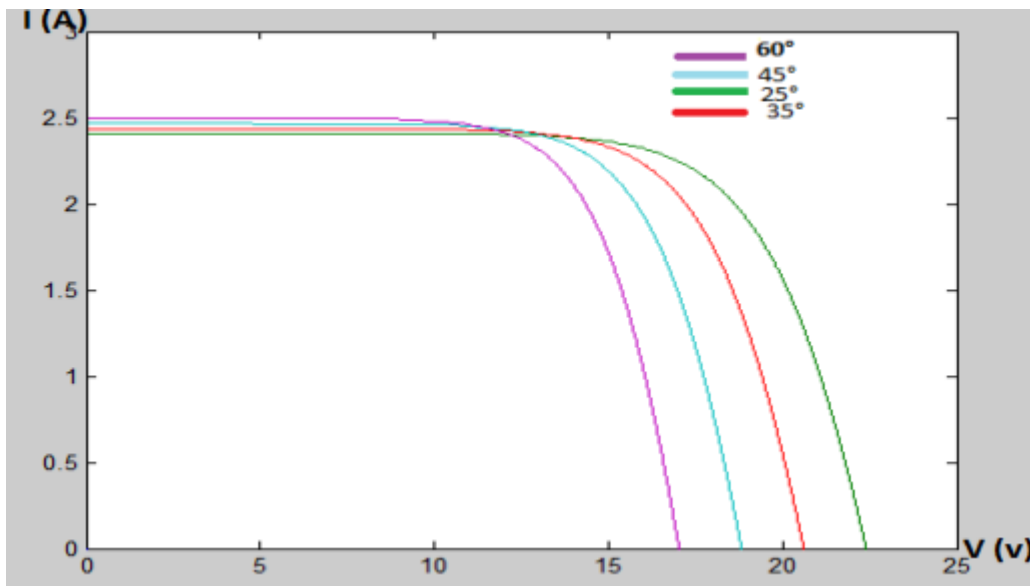


Figure I. 28: Influence de la température [19]

1.14. Les différents défauts des systèmes photovoltaïques :

Comme tous les systèmes d'alimentation électrique, il existe de nombreux défauts qui doivent être corrigés. En ce qui concerne les systèmes d'énergie photovoltaïque, il existe cinq types de défauts:

- _ Défauts de Mismatch et d'ombrage
- _ Défauts de la diode de by-pass
- _ Défauts de module
- _ Défauts de connectique
- _ Défauts de la diode anti-retour

1.14.1. Défaut de mismatch et d'ombrage :

Bien que l'intérêt soit croissant dans la recherche pour améliorer les performances de systèmes photovoltaïques (PV), il y a peu de travaux effectués jusqu'à présent sur la détection des pannes de systèmes photovoltaïques. L'ombrage est parmi les causes des pannes au niveau des modules PV. En effet, l'ombrage de la surface de la cellule se fait par des infrastructures ou à cause du relief naturel (un fil électrique, cheminées, des arbres ou à d'autres parties de construction) [20].

Le module peut devenir polarisé en inverse, fonctionnant comme charge au lieu de générateur. Cela produit la réduction de la puissance de sortie et des points chauds (hot spot). Ce hot spot provoque l'apparition d'un circuit ouvert et risque de détruire ce module. Le défaut de mismatch est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I -V non identique. Tout changement dans l'un des paramètres de l'équation du courant (I_{pv}) conduira à la dissemblance de leur caractéristique. Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules [20].

Comme on peut le constater sur les figures (I-V) et (P-V) ci-dessous, plusieurs points optimaux sont obtenus suivant le taux de l'ombrage sur le module considéré.

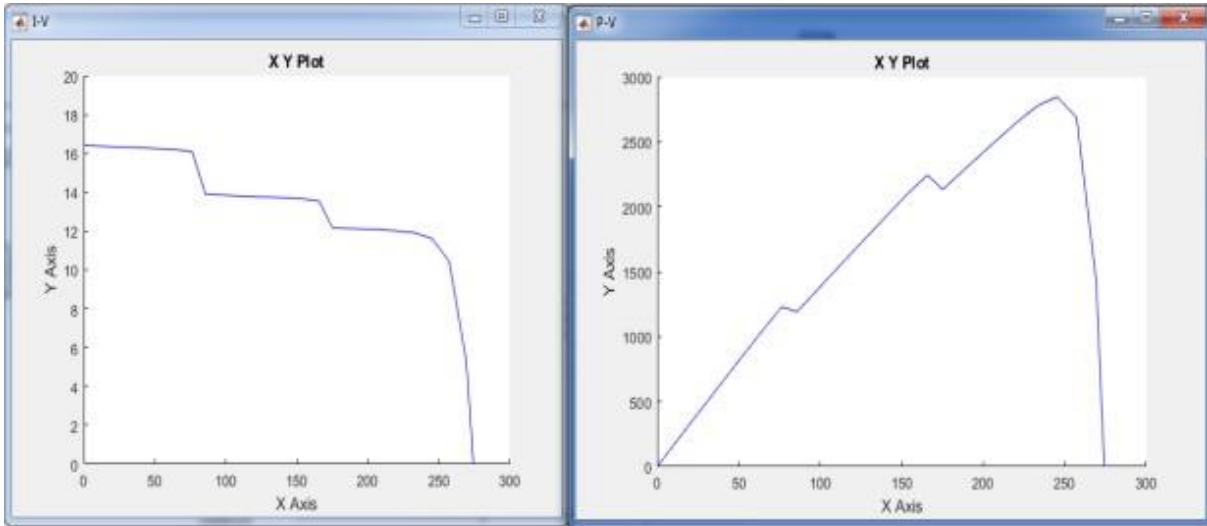


Figure I. 29: Influence de l'ombrage sur les caractéristiques (I-V) et (P-V)

1.15 Définition d'un système photovoltaïque (PV)

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge (voir Figure I. 30). Le conditionnement de puissance peut comprendre: un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC ou/et DC/ AC) ou un convertisseur seul. Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la Figure I. 31

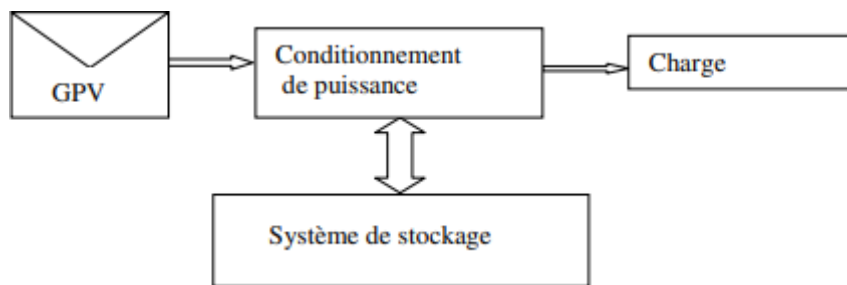


Figure I. 30 Système photovoltaïque

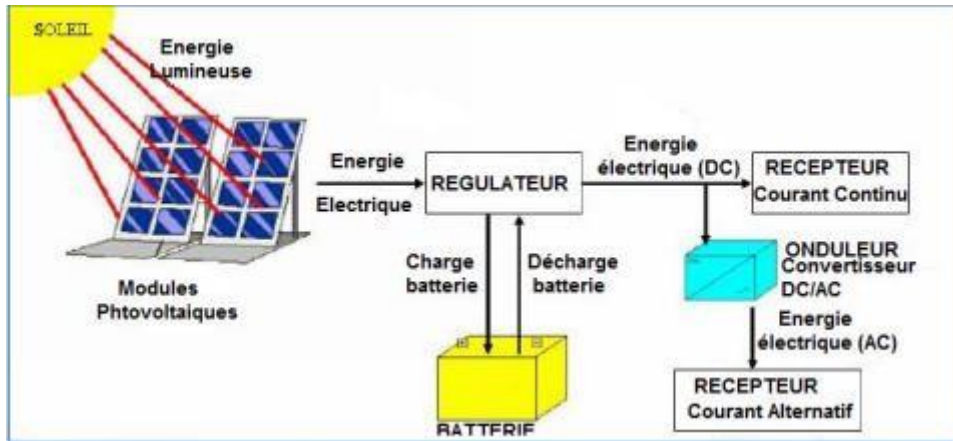


Figure I. 31 Système photovoltaïque plus détaillé

1.16 Classification des systèmes PV

On distingue deux types de systèmes PV :

- Systèmes PV autonomes
- Système à injection au réseau.

1.16.1 Systèmes autonomes

1.16.2 Définition

On dit qu'un système PV est autonome si la charge est passive (exemple : lampes, les moteurs, etc.). Le système PV autonome est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autres sources d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique (Figure I. 32). Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries ou autres moyens de stockage pour une utilisation durant les périodes de la non disponibilité de l'énergie solaire (par exemple les périodes nocturnes, les périodes non ensoleillées). Les systèmes PV autonomes servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, en îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau (dans certains cas). En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. À l'heure actuelle, c'est dans les endroits isolés, loin d'un réseau électrique et où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement moins de 10 kWc) que l'énergie photovoltaïque est la plus concurrentielle.

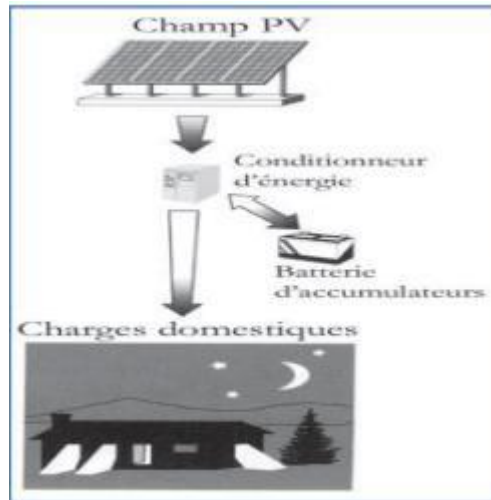


Figure I. 32 : Schéma d'un système PV autonome (hors-réseau).

1.16.3 Types de systèmes PV autonomes

On distingue deux types :

- Les systèmes au fil du soleil
- Les systèmes avec stockage

A) Les systèmes au fil du soleil

Les systèmes au fil du soleil sont des systèmes sans stockage. Ils exploitent directement l'énergie solaire sans aucune source d'appoint. Ces systèmes sont classés, selon la nature de la charge à alimenter, en deux types systèmes à courant continu et systèmes à courant alternatif. L'application la plus connue est le pompage photovoltaïque avec ses deux types : systèmes de pompage PV à courant continu et systèmes à courant alternatif. Pour le deuxième cas on doit ajouter un onduleur. La Figure I. 33 montre un exemple d'un système de pompage PV où le conditionneur d'énergie peut être, selon la fonction exigée, un convertisseur DC/DC, un convertisseur DC/AC ou les deux en même temps (les conditionneurs d'énergie seront étudiés aux chapitres qui suivent). Ces systèmes sont simples mais leur inconvénient est la coupure de l'alimentation en absence du soleil. Ces systèmes utilisent, en général, un autre moyen de stockage tel que les réservoirs d'eau pour le pompage PV.

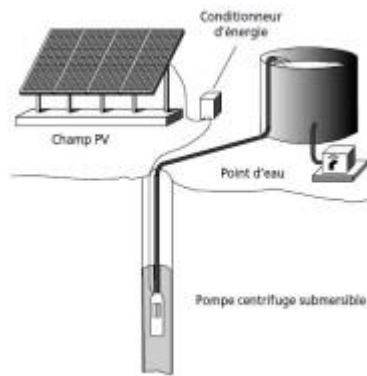


Figure I. 33 Système de Pompage PV

B) Les systèmes avec stockage

Les systèmes avec stockage sont des systèmes qui contiennent des moyens de stockage. Un système de stockage sert à alimenter les charges durant les périodes ayant un ensoleillement faible (passage des nuages) ou une absence totale de l'ensoleillement (les nuits). Le système de stockage sert à emmagasiner l'énergie durant la présence de l'excès d'énergie photovoltaïque et de la restituer durant les autres périodes d'insuffisance d'énergie. Comme exemple, on peut citer l'alimentation des maisons en électricité dans des sites isolés.

1.17 Systèmes PV à injection aux réseaux

1.17.1 Définition d'un système PV raccordé au réseau

Un système PV raccordé au réseau est un système dont la charge est partiellement ou totalement le réseau électrique. Le générateur PV injecte sa puissance à travers un onduleur dans le réseau électrique (Figure I. 34 et Figure I. 35).

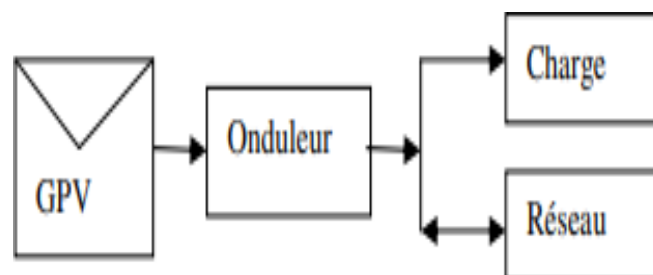


Figure I. 34 Injection partielle

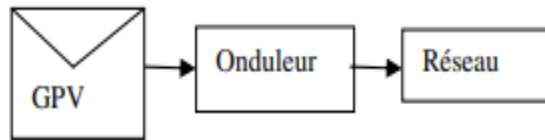


Figure I. 35 Injection totale

Remarque

Pour le premier cas on peut avoir un système de stockage si les lois du pays encouragent la vente d'énergie renouvelable alors que pour le deuxième cas le stockage est utilisé si on veut réduire la consommation durant les heures de pointes, plus particulièrement de nuits.

1.18 Classes des systèmes raccordés aux réseaux

On a deux classes de systèmes raccordés aux réseaux :

- Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque) ;
- Systèmes à petites puissances ou systèmes décentralisés ; généralement installés chez des particuliers.

A) Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque)

Les systèmes à grandes puissances sont des systèmes PV localisés dans des endroits où l'alimentation est centralisée. Ils sont utilisés pour renforcer le réseau conventionnel durant les périodes de pic de puissances. Ces systèmes nécessitent des espaces très vastes (environ 2 hectares pour un 1MWc).

B) Systèmes à petite puissance ou systèmes décentralisés

En quantité unitaire, les systèmes décentralisés de petite puissance (inférieur à 100 kWc) sont les plus courants, avec approximativement 80 % des systèmes raccordés au réseau mondial, la majorité étant posé sur des habitations individuelles. Selon la portion injectée dans le réseau on distingue deux sortes de systèmes :

C Systèmes à Injection du surplus

Dans cette configuration, le consommateur utilise la puissance fournie par le générateur PV pour satisfaire ses besoins en énergie et dans le cas du surplus, il l'injecte dans le réseau. L'installation du client producteur avec achat des excédents de production doit être équipée de deux compteurs, l'un mesurant l'énergie soutirée au réseau lorsque la consommation excède la production (compteur de soutirage), l'autre mesurant l'énergie injectée dans le réseau (compteur d'injection). A chaque moment, un seul compteur mesure (Figure I. 37).

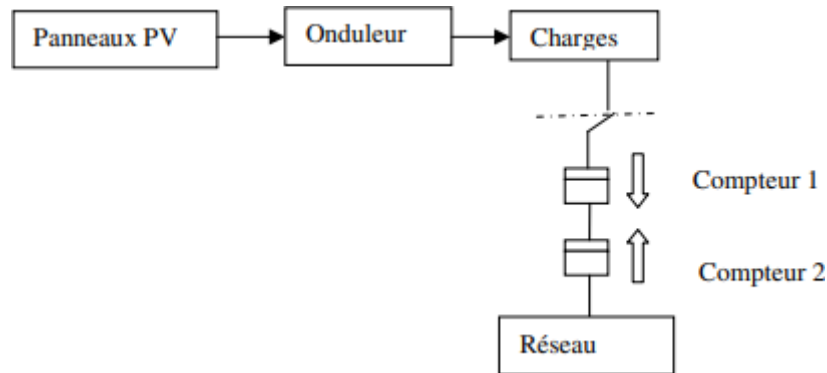


Figure I. 36: Installation solaire à injection au réseau avec deux compteurs d'énergie

D Systèmes à injection de la totalité

Dans ce cas toute la production de la station solaire est injectée dans le réseau. Ces besoins en consommation sont satisfaits par le réseau. Cette configuration est très utilisée dans les pays qui encouragent l'introduction des énergies renouvelables où l'achat du kWh d'énergie renouvelable peut atteindre jusqu'à cinq fois le kWh des énergies fossiles dans certains pays.

1.19 Constitution des champs PV

Le champ PV est la source d'énergie électrique en courant continu. Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux (voir Figure I. 37). Le module est un ensemble de photopiles (cellules) assemblés pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

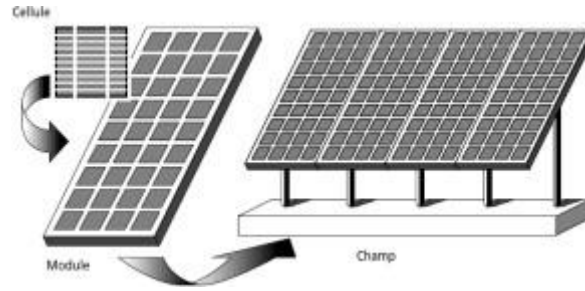


Figure I. 37 Constituants d'un générateur PV

1.20 Energies renouvelable en Algérie

1.20.1 Programme national des énergies renouvelables

Les principaux objectifs de la stratégie nationale du gouvernement visent à porter la part des énergies renouvelables à environ 27% de la production nationale d'électricité à l'horizon 2030. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a adopté, en 2011, un ambitieux programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Ce programme, révisé en 2015, s'articule notamment autour :

- _ d'un cadre législatif et réglementaire incitatif pour la production et la commercialisation des énergies renouvelables,
- _ d'une intégration des capacités nationales qui sont déjà appréciables,
- _ de la mise en place d'une véritable activité économique orientée vers les énergies renouvelables.

Au mois de mars 2020, le programme de développement des énergies renouvelables d'une capacité de 16 000 MW à l'horizon 2035 a été adopté par le gouvernement, dont 15 000 MW raccordés au réseau électrique national et 1 000 MW en hors réseau (autoconsommation) [21].

1.20.2 Développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables au niveau des collectivités

La consommation en énergie électrique des communes ne cesse d'augmenter d'année en année, tant en physique qu'en financier. En 2017, la consommation a atteint 4 801 GWh, soit 8% de la consommation nationale en énergie électrique de 59 423,7GWh, pour un montant correspondant à 27 milliards de dinars.

La rationalisation de la consommation de l'énergie électrique devient, donc une urgence pour réduire l'impact de la facture d'énergie sur les budgets des communes.

Dans cette optique, la Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz, filiale du groupe SONELGAZ, a élaboré une feuille de route dans laquelle elle privilégie un travail de proximité axé sur la sensibilisation de ses clients sur la maîtrise et la rationalisation de leur consommation de l'énergie électrique.

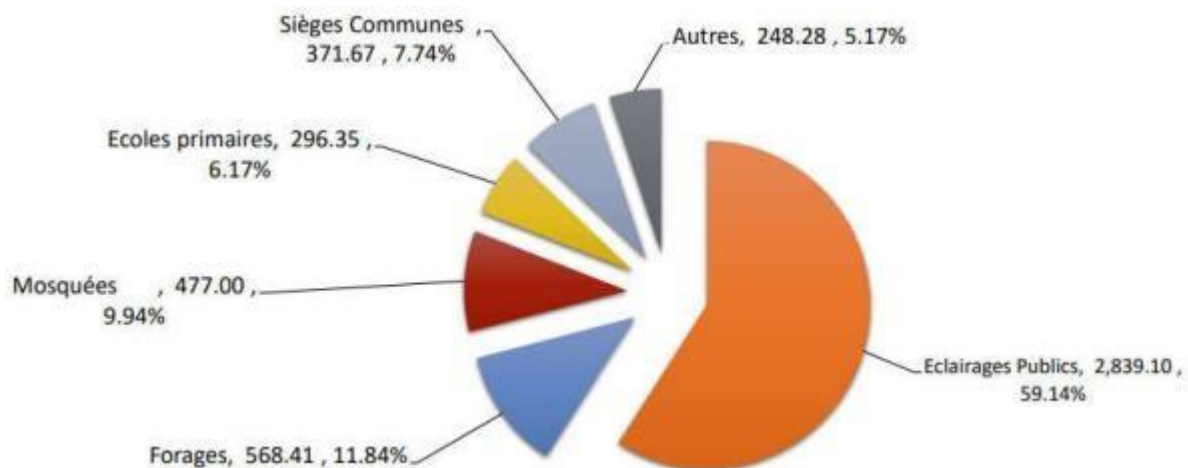


Figure 1.39 : Consommation des communes par activité - année 2017-(GWH) [22]

Cette feuille de route a été élargie aux collectivités locales et administrations publiques afin de s'inscrire dans les orientations de la circulaire interministérielle n°1 du 05 février 2018, relative au développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables au niveau des collectivités locales concernant l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage public, les écoles et les mosquées.

Il est à noter que le poste, le plus énergivore, est constitué par l'éclairage public, le quel représente 59.14% du total de la consommation d'énergie, suivi de l'exploitation des forages hydrauliques 11.84%, des mosquées 9.94% et des écoles primaires de 6.17%.

I.21. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV

I.21.1. Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque

_ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.

L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme. Ce sont des systèmes simples et rapides à installer qui nécessitent très peu de maintenance (d'où des frais de maintenance relativement faibles).

_ Le solaire photovoltaïque ne comporte aucune pièce en mouvement, la production électrique est réalisée sans combustion ; il n'existe donc ni d'usure due aux mouvements, ni d'usure thermique comme pour les chaudières.

_ En devenant producteur d'électricité avec une installation photovoltaïque, chacun peut améliorer son écobilan, réduire les émissions de Dioxyde de Carbone et préserver les ressources naturelles.

_ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple, des installations éoliennes [23].

I.21.2. les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

_ Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent.

_ Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10 % pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance. De ce fait, pour couvrir un besoin familial, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire.

_ Le rendement maximum d'un panneau solaire s'obtient uniquement quand la surface du panneau est strictement perpendiculaire aux rayons solaires. Idéalement, il faudrait donc que la position du panneau varie suivant les saisons et au cours de la journée, ce qui n'est quasiment pas réalisable.

_ Le stockage de l'électricité est également très difficile avec les technologies actuelles.

_ Le recyclage des cellules photovoltaïques en fin de vie pose des problèmes environnementaux. Les batteries utilisées par les panneaux photovoltaïques sont composées de plomb, de zinc, de cadmium, . . . et donc ont un impact sur l'environnement [23].

1.22 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases indispensables à la compréhension du sujet traité. Des généralités sur la conversion photovoltaïque ont été données. Ainsi, nous avons abordé le principe de la conversion photovoltaïque, les types des cellules utilisées, les modélisations les plus utilisées, les système pv et un aperçu sur le programme de développement des énergies renouvelables en Algérie.

Dans le prochain chapitre nous étudions les système pv autonomes et leur dimensionnement.

Chapitre 2 :

Systemes photovoltaïques autonomes, présentation et dimensionnement

II. 1 Introduction

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont l'une des solutions les plus adaptées pour l'intégration des énergies renouvelables dans le milieu rural.

Ce chapitre est consacré à la description de ce type de systèmes, de ses composantes et de la méthode utilisée pour leur dimensionnement.

II 2 Description d'un système photovoltaïque autonome

_ Il s'agit d'un système de production d'énergie électrique indépendant, c'est-à-dire non relié à un réseau public de distribution d'électricité

L'utilisation d'une installation solaire autonome consiste à utiliser l'électricité produite directement ou en la stockant dans des batteries [24].

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- **Le générateur photovoltaïque** (ou champ PV) charge la batterie en période d'ensoleillement et alimente en direct, le cas échéant, les récepteurs.
- **La batterie d'accumulateurs** assure le stockage de l'énergie électrique produite.
- **Le contrôleur de charge** (type PWM ou MPPT) protège la batterie contre la surcharge.
- **Le limiteur de décharge** protège la batterie contre les décharges profondes éventuelles.
- Les utilisations, constituées de **récepteurs** DC ou/et d'un onduleur, sont raccordées sur la batterie via le limiteur de décharge [24]

II 2.1. Les composants d'un système photovoltaïque autonome

Un système photovoltaïque autonome comprend généralement différents composants de base comme l'indique la figure suivante



Figure 2.1. Différents éléments d'un système photovoltaïque autonome

II 2.2 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque produit un courant électrique continu par la conversion de l'énergie lumineuse.

Il est constitué d'un ensemble de modules photovoltaïques élémentaires montés en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

II 2.3. Le régulateur

Optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

II 2.4 L'onduleur

Transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC

II.2.5 Les batteries

Sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

II.3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

_ Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur. Pour un système PV autonome, cela consiste à suivre les étapes suivantes :

_ Évaluation du besoin électrique (inventaire des appareils électriques et calculs des besoins électriques).

_ Évaluation du gisement solaire local (En fonction de la localisation, de l'angle d'inclinaison et de l'orientation).

_ Dimensionnement du champ PV (calcul de la puissance crête nécessaire).

_ Dimensionnement du parc de batteries (choix de la tension et de la capacité du parc de batteries).

_ Choix du régulateur et de l'onduleur

_ Dimensionnement des câbles [25].

II 3.1 Calcul du besoin en énergie

_ La puissance photovoltaïque du générateur à installer est déduite du calcul de la consommation de l'application. Il prend en compte la puissance, la tension des appareils ainsi que les durées d'utilisation.

_ Tous les consommateurs disponibles (lampes, radio, téléviseurs, réfrigérateur, ordinateur, etc.) sont listés en précisant leur tension, leur puissance et leur durée d'utilisation par jour. La consommation journalière (Wh/j) est définie, pour chaque consommateur, à partir de la puissance (W) et de la durée d'utilisation (h/j), afin d'en déduire la consommation totale journalière.

II 3.2 Évaluation du gisement solaire

_ Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte

tenu de la demande à satisfaire [25]. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

_ Le gisement solaire permet d'identifier, par géo localisation, la valeur d'énergie disponible pour une installation.

II 3.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Suite à l'évaluation des besoins électriques et du gisement solaire, il est à présent possible de dimensionner les modules solaires.

Cette opération consiste simplement à calculer la puissance crête nécessaire au bon fonctionnement de l'installation. L'objet de cette sous-partie est de savoir dimensionner des modules solaires d'une installation photovoltaïque autonome.

1. Formule de calcul de la puissance crête photovoltaïque

Dans une installation photovoltaïque autonome, la seule source d'énergie disponible provient du champ photovoltaïque. Rappelons, en ce sens, que le parc de batteries ne doit pas être considéré comme une source d'énergie, car il ne fait que stocker une partie de l'énergie produite par le champ photovoltaïque.

Par conséquent, on peut doré-et-déjà émettre la règle de dimensionnement suivante :

Règle de dimensionnement du champ photovoltaïque

L'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque (E_{Elec}) doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les appareils électriques (E_{Besoin}).

l'énergie électrique E_{Elec} se calcule par la formule suivante :

$$E_{Elec} = \frac{P_c}{P_i} E_i * P_R \dots \dots \dots 2.1$$

Avec :

- E_i est l'irradiation solaire journalière, exprimée en kWh/m²/jour, reçue par le champ photovoltaïque.
- E_{elec} est l'énergie électrique journalière potentiellement produite par l'installation photovoltaïque, exprimée en kWh/jour.
- P_c est la puissance crête du champ photovoltaïque.
- P_i est la puissance radiative dans les conditions standards de test (STC), exprimée en kW/m². Donc, $P_i = 1$ kW/m² (1000 W/m²).
- PR est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque (définis dans le paragraphe suivant).

Ainsi, la règle se formalise mathématiquement par :

$$\frac{P_c}{P_i} E_i * P_R \geq E_{Besoin} \dots\dots\dots 2.2$$

Notre objectif étant de calculer la puissance crête P_c de l'installation photovoltaïque, nous exprimons P_c en fonction des autres paramètres :

$$P_c \geq \frac{E_{Besoin} * P_i}{E_i * p_r} \dots\dots\dots 2.3$$

2. Application de la formule de calcul de la puissance crête PV

Calculer les besoins électriques (E_{Besoin}).

Choisir PR , le ratio de performance. On pourra utiliser les valeurs ci-dessous : [26]

Tableau 2.1 : Valeur du Ratio de Performance PR en fonction de la ventilation des modules [26]

		Modules très peu ventilés	Modules peu ventilés	Modules ventilés	Modules bien ventilés
Ratio de performance PR	Absence du MPPT	0.55	0.6	0.65	0.7
Ratio de performance PR	Présence du MPPT	0.6	0.65	0.7	0.75

II 3.4 Dimensionnement des batteries

L'étape N°4 consiste à dimensionner le parc de batteries, à savoir déterminer sa tension (en V) et sa capacité (en Ah)

Le dimensionnement de la batterie consiste à effectuer les deux choix techniques suivants :

Choix de la tension de la batterie.

Choix de la capacité de la batterie.

1. Choix de la tension du parc de batteries

Le calcul de la tension du parc de batteries repose sur 2 contraintes :

Minimiser la chute de tension dans les câbles (contrainte de performance),

Éviter les échauffements des câbles (contrainte de sécurité).

La tension du parc à batterie est donc certainement fonction de la chute de tension tolérée entre ce parc à batterie et le régulateur, la longueur des câbles, leur section et le courant maximal qui les traverse [26].

$$U_{BATT} = \sqrt{\frac{\rho \cdot 2 \cdot L \cdot P}{S \cdot \epsilon}} \dots\dots\dots 2.4$$

Avec :

ρ : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) dans les conditions de température d'exploitation, exprimée en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

$2 \times L$: Longueur aller-retour des câbles entre le parc de batteries et l'onduleur, exprimée en m.

P : Puissance électrique nominale traversant les câbles, exprimée en W.

S : Section des câbles, exprimée en mm^2 .

ϵ : Chute de tension maximum tolérée dans les câbles, exprimée en %

2. Calcul de la capacité du parc de batteries

Le calcul de la capacité du parc de batteries s'effectue grâce à la formule suivante [26].:

$$C_{td} \geq \frac{N_j E_{besoin}}{P_D * k_t} \dots\dots\dots 2.5$$

- E Besoin : l'énergie journalière consommée
- NJ : l'autonomie de réserve souhaitée
- PD : la profondeur de décharge de la batterie
- Kt : Coefficient de température. Sa valeur dépend de la température du milieu de fonctionnement des batteries. Certaines valeurs typiques pour une batterie au plomb/acide sont données dans le tableau suivant [26].

Tableau 2.2 : Température de fonctionnement des batteries [26]

Température de fonctionnement des batteries	-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Coefficient correctif	0.80	0.85	0.90	0.95	1	1.04	1.1	1.13

II 3.5 Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur

1 Dimensionnement du Régulateur

Dans notre étude de cas, nous choisissons un régulateur disposant de la fonction MPPT. Les raisons qui motivent notre choix sont les suivantes :

Avec un régulateur MPPT, il y a moins de contraintes vis-à-vis de la tension du champ photovoltaïque. Par conséquent, le câblage des modules sera plus simple.

On améliore l'efficacité de l'installation photovoltaïque de l'ordre de 15%

le dimensionnement du régulateur s'effectue selon les 4 critères suivants :

_ La puissance maximale du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur

- _ La tension à vide du champ photovoltaïque (majorée par le coefficient de sécurité) doit être inférieure à la tension maximale admissible par l'onduleur.
- _ Le courant de sortie du champ photovoltaïque ne doit pas dépasser le courant maximal admissible par le régulateur.
- _ Le régulateur doit être compatible avec la tension du parc de batteries [26].

2. Dimensionnement de l'Onduleur

Pour dimensionner l'onduleur, on doit additionner toutes les puissances de tous les éléments qu'on souhaite utiliser. On doit ensuite choisir un onduleur avec une puissance supérieure à celle-ci. On doit également s'assurer onduleur correspond à la tension du groupe de batteries [26].

II 3.6 Dimensionnement des câbles

Indépendamment de l'aspect économique, le choix de la section des câbles de l'installation s'effectue selon 2 critères majeurs :

- _ La chute de tension tolérée.
- _ Le courant maximal admissible dans les câbles.

1. Courant admissible des câbles

Le premier paramètre à prendre en compte pour le calcul de la section des câbles est le courant admissible.

Le courant admissible IZ des câbles dépend notamment du mode de pose et de la température du conducteur [26].

Le courant admissible d'un câble est la valeur maximale de l'intensité du courant pouvant parcourir en permanence ce conducteur sans que sa température soit supérieure à sa température spécifiée Afin d'éviter tout phénomène de surchauffe des câbles, il convient de choisir des sections de câbles présentant un courant admissible (IZ) supérieur au courant maximal d'emploi (IB) du circuit électrique.

En fonctionnement normal, le courant maximal d'emploi, côté Champ Photovoltaïque, doit être pris égal à :

$$1.25 \times ICC$$

Ainsi, on choisira toujours des sections de câbles dont le courant admissible $I_Z = 1.25 \times ICC$

. Il va de soi que les courants s'ajoutent en présence de jonctions parallèles de plusieurs chaînes photovoltaïques.

La règle $I_Z = 1.25 \times ICC$ ne peut pas s'appliquer lorsque plusieurs chaînes photovoltaïques sont susceptibles de produire des courants retours.

2. Chute de tension dans une installation photovoltaïque

Le deuxième paramètre à prendre en compte pour le calcul de la section des câbles est la chute de tension admissible.

En théorie, un câble est un conducteur de courant parfait, c'est-à-dire que sa résistance est nulle. En pratique, un câble n'est pas un conducteur parfait : il se comporte comme une résistance.

Il est recommandé que la chute de tension maximale entre le champ photovoltaïque et le régulateur soit de 3%. Idéalement, on visera une chute de tension de 1%. Notons ε la chute de tension dans les câbles.

Par définition :

$$\varepsilon = \frac{v_a - v_B}{v_a} \dots\dots\dots 2.7$$

Par ailleurs, nous savons aussi que :

$$U = V_A - V_B \dots\dots\dots 2.8$$

Dans un câble, nous savons que :

$$R = \frac{\rho * L}{S} \dots\dots\dots 2.9$$

Donc on en déduit :

$$\varepsilon = \frac{v_a - v_B}{v_a} = \frac{\rho * L * I}{S * V_A} \dots\dots\dots 2.10$$

D'où on peut extraire la formule exprimant la section S d'un câble :

$$S = \frac{\rho * L * I}{\varepsilon * V_A} \dots\dots\dots 2.11$$

Avec :

ρ : Résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal. Tel que :

$\rho = 1.25 \times \rho_0$, où ρ_0 est la résistivité du conducteur à 20°C. On exprimera la résistivité en $\Omega.m$.

L : Longueur totale du câble (m).

S : Section du câble (mm²) ;

I : Courant circulant dans le câble (A) ;

ε : chute de tension ;

V_A : Tension à l'origine du câble (V).

Il est à noter qu'il faut additionner les deux portions (coté + et coté -) pour le calcul de la longueur du câble. Ainsi par exemple, pour le câble entre la batterie et le régulateur, il suffit de remplacer L par 2L et la relation précédente devient :

$$S = \frac{\rho * L * I^2}{s * V_{batt}} \dots\dots\dots 2.12$$

La résistivité du conducteur est une donnée du fabricant et dépend du matériau :

$\rho = 1.851 \times 10^{-8} \Omega.m$ pour un conducteur en cuivre

$\rho = 2.941 \times 10^{-8} \Omega.m$ pour un conducteur en aluminium

Il est de coutume d'exprimer la résistivité d'un conducteur en $\Omega.mm^2/m$. Cette unité permet, lors du calcul des sections de câbles, d'exprimer les longueurs directement en mètre et les sections en mm².

$\rho = 0.01851 \Omega.mm^2/m$ pour un conducteur en cuivre.

$\rho = 0.02941 \Omega.mm^2/m$ pour un conducteur en aluminium.

II.8 Conclusion

_ Dans ce chapitre nous avons décrit les composantes d'un système PV autonome et décrit la méthode utilisé pour son dimensionnement.

_ Dans le prochain chapitre, nous présenterons une Etude technicoéconomique d'un projet photovoltaïque autonome pour une école (CEM) sise à la commune d'El-Hamadia, Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Chapitre 3 :

Etude technico économique d'un projet photovoltaïque autonome pour une école à Bordj Bou Arreridj

III Introduction

Le gouvernement Algérien a lancé en Février 2018 un programme de développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelable au niveau des collectivités locales concernant l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage public, les écoles et les mosquées, et ce pour réduire la facture d'électricité, réduire la pollution et conserver les énergies fossiles [27].

Il est à noter que le poste le plus énergivore, est constitué par l'éclairage public, le quel représente 59.14% du total de la consommation d'énergie, suivi de l'exploitation des forages hydrauliques 11.84%, des mosquées 9.94% et des écoles primaires de 6.17% [27].

Ce chapitre de notre projet est consacré à l'étude et le dimensionnement d'une installation photovoltaïques pour l'alimentation électrique totale du CEM « SAHED Mohamed », sise à la commune d'El-Hamadia, Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

III 1 Le projet photovoltaïque du CEM Sahed Mohamed de Bordj Bouararij:

III .1.1 Description du projet

Ce projet porte sur l'intégration de systèmes photovoltaïques pour l'électrification

Du CEM Sahed Mohamed. Ce CEM se compose de :

- 24 classes ;
- Hall d'entrée ;
- Administration ;
- Poste police ;
- Un Amphithéâtre ;
- Une salle informatique ;



Figure.3.1 : La vue avant de l'école



Figure.3.2 :L'espace interne de l'école(la cour du CEM)

III 2 Données géographique et météorologique du site du projet

III.2.1 Simulation avec le logiciel PVsyst

Les outils d'aide au dimensionnement sont souvent les logiciels de simulation de systèmes PV.

Ils fournissent une estimation de l'énergie produite et de sa distribution, et quantifient les effets perturbateurs de manière à identifier les points faibles du site et optimiser l'ensemble du système PV. Parmi ces logiciels on trouve PVsyst, il calcule notamment le comportement du système et l'ensemble des perturbations pour chaque heure de fonctionnement, à partir des données d'entrée précises. Il est primordial que les systèmes photovoltaïques se développent avec cohérence et de manière optimale. Dans ce contexte le programme **PVsyst** est un outil qui permet d'analyser les solutions envisagées avec précisions et d'évaluer les résultats qu'on peut attendre [28].

III 2.2 Situation géographique du site

La localisation du projet de l'alimentation électrique par installation photovoltaïque de CE M Sahed Mohammed, commune Elhamadia, Wilaya de Bordj Bou Arreridj, est comme suit (Figure 3.3) :

- Altitude:828m
- Latitude : 35.99° 35' 59" Nord
- Longitude : 4.7° 4' 58"Est



Figure 3.3 : Vue de satellite du lieu (CEM Sahad Mohamed).

III .2.3 Données météorologique du site

Les statistiques présentées sur la figure ci-dessous obtenu par le logiciel PVSyst ont été recueillies par satellite.

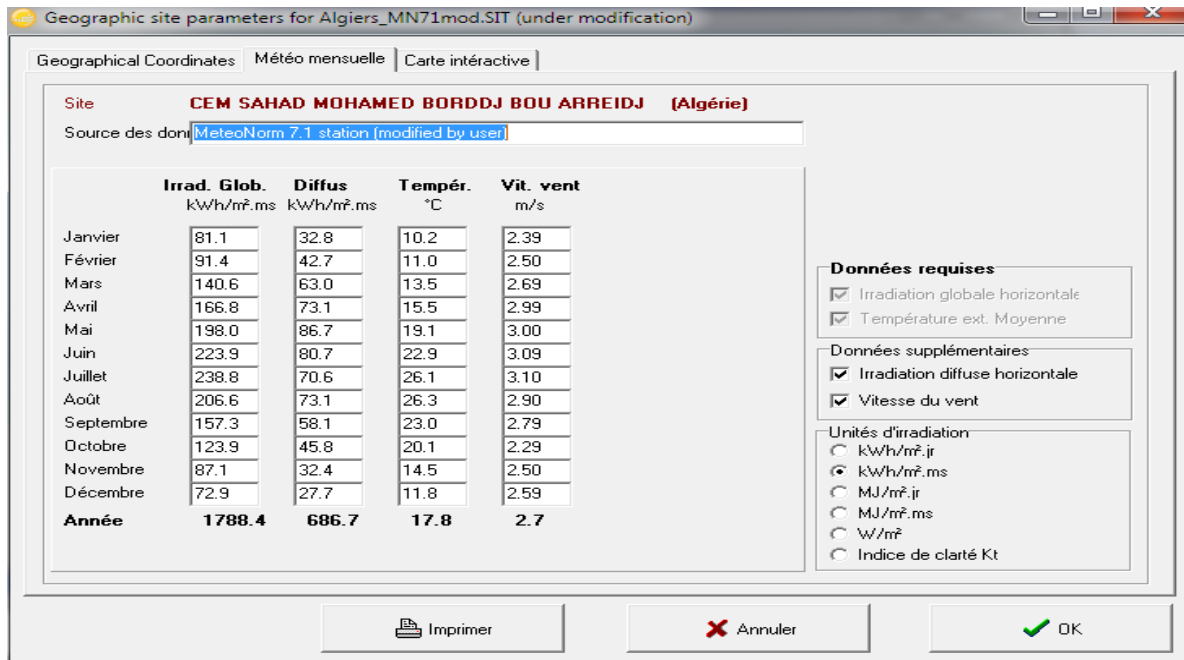


Figure 3.4 Irradiation Global Horizontale (IGH)et température ambiante au sol CEM Sahed Mohammed

A. Trajectoire du soleil

La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le

plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté Négativement vers l'est). Le diagramme ci-dessous (fig.3.5) représente la trajectoire du soleil Pour la ville d'El-Hamadia, Bordj Bou Arreridj. La hauteur du soleil est maximale au 22 juin et elle est minimale au 22 décembre où la variation de la hauteur en fonction de L'azimut est nulle.

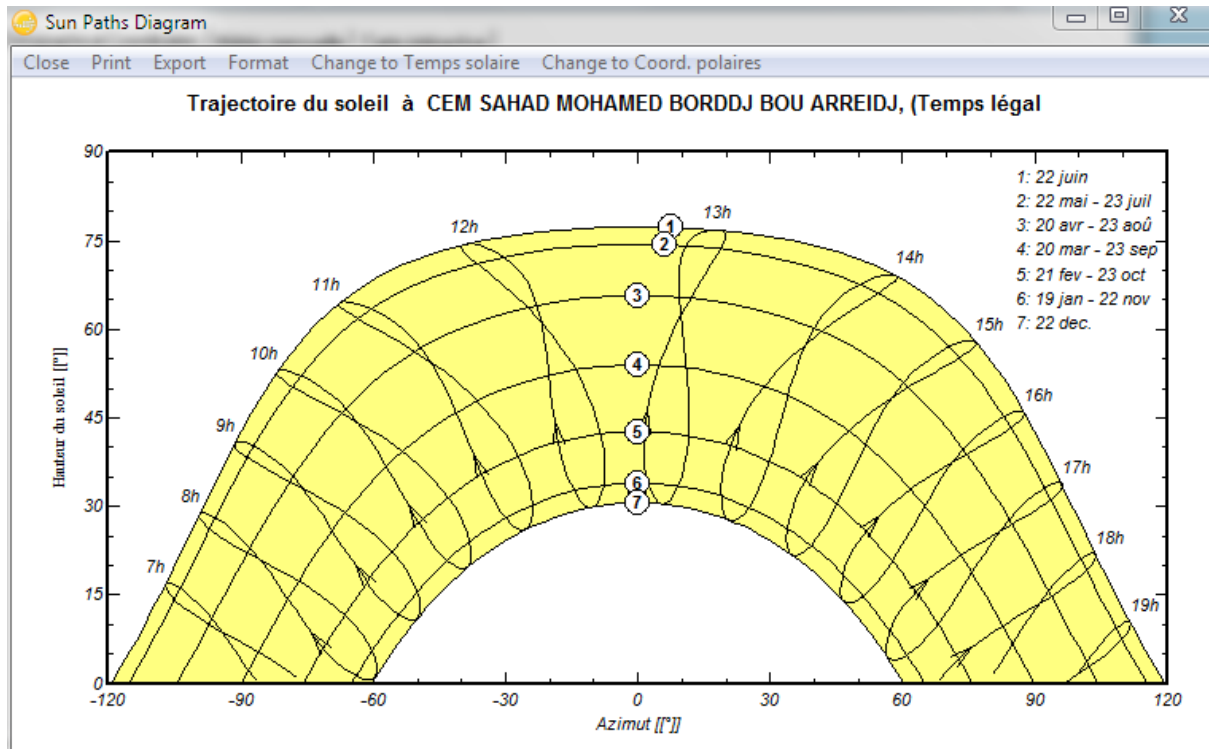


Figure 3.5:Trajectoire du soleil à Sahed Mohammed, El-Hamadia

B. Orientation, inclinaison et caractéristique de la structure porteuse des panneaux solaires

Selon les coordonnées géographiques de CEM, Sahed Mohammed, El-Hamadia, le support des panneaux photovoltaïques doit être orienté vers le sud, et avec une inclinaison de 35° . Le support doit être fabriqué en cornière métallique, peinturé contre la corrosion. Le support doit être fixé sur une plateforme en béton armé d'une épaisseur de 20x30 cm, et ce comme montre la (figure 3.6) et (figure 3.7).

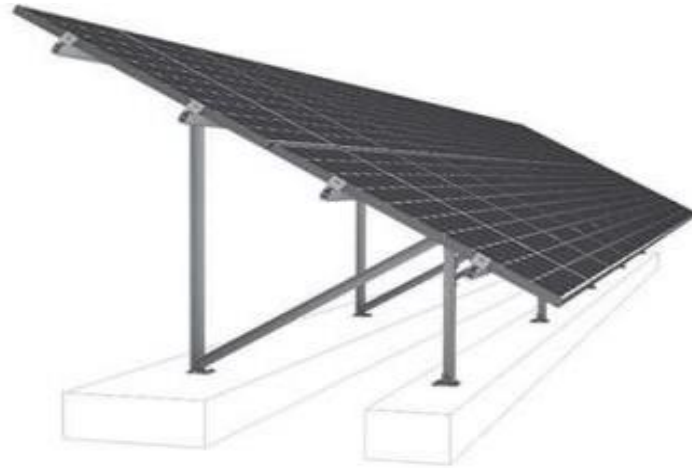


Figure 3.6 Schéma de Structure sur le toit

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Pour la simulation en technologie de silicium mono-cristallin, nous avons choisi un plan incliné et orienté vers le plein sud, d'une inclinaison 35° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure ci-dessous. Dans ce cas, le panneau en position « hiver » très relevée à la verticale, pour produire le plus possible d'énergie avec des soleils bas. Cette position est fonction de cette hauteur du soleil en hiver et donc de la latitude du lieu. La règle est simple dans ce cas : latitude du lieu + 10

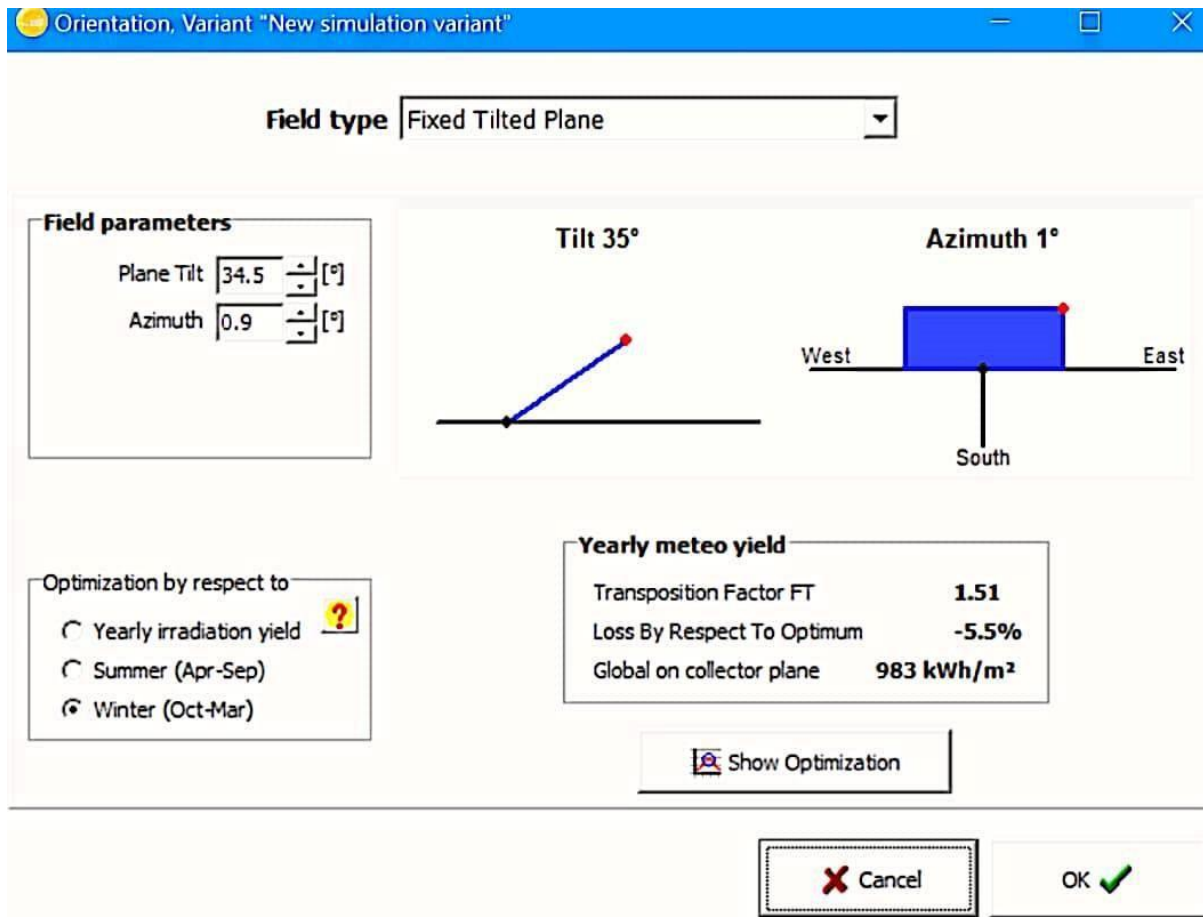


Figure 3.7 Paramètres d'orientation et d'inclinaison des panneaux solaires

III.2.4 Consommation journalière de l'utilisateur

Après avoir introduit l'angle d'inclinaison on passe à donner les besoins d'utilisateur (consommation journalière), donnés par la figure suivante :

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution |

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
96	Lamps Classes	12 W/amp	4.0 h/day	OK	4608 Wh
20	PC	100 W/app.	7.0 h/day	OK	14000 Wh
0	Domestic appliances	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	24.0 h/day		0 Wh
1	Climatiseur	1000.0 W aver.	4.0 h/day	OK	4000 Wh
104	entre pcpl	12 W/app.	2.0 h/day	OK	2496 Wh
4	Imprimantes	237 W/app.	2.0 h/day	OK	1896 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day	<input type="checkbox"/> 7 days/7	24 Wh
Total daily energy					27024 Wh/day
Total monthly energy					579.1 kWh/month

? Appliances info

Consumption definition by

Year ?

Seasons

Months

Week-end or Weekly use

Use only during

days in a week

Model

Load Save

Other profile
X Cancel
OK

Figure 3.8 Consommation journalière de l'utilisateur.

III.2.5 Système Panneaux solaires et Régulateur

Specified User's needs | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs: 19.3 kWh/day
 Enter accepted PLOL: 10.0 %
 Enter requested autonomy: 3.0 day(s)
 Detailed pre-sizing

Battery (user) voltage: 48 V
 Suggested capacity: 1987 Ah
 Suggested PV power: 4368 Wp (nom.)

Storage | PV Array | Back-Up | Simplified Schema

Sub-array name and Orientation:
 Name: PV Array
 Orient.: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 35°
 Azimuth: 1°

Presizing Help
 No sizing
 Enter planned power: 4.3 kWp
 ... or available area: 25 m2

Select the PV module
 Available Now: [v]
 Sort modules: Power Technology
 All manufacturers: [v] 345 Wp 32V Si-poly JKM 345PP-72-DV Jinkosolar Manufacturer 201 [v]
 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 33.5 V
 Voc (-10°C) 53.3 V

Select the control mode and the controller
 Universal controller [v]
 MPPT power converter
 Max. Charging - Discharging current
 Operating mode:
 Direct coupling
 MPPT converter
 DCDC converter
 MPPT 3600 W 48 V 65 A 60 A FLEXmax 60 - 48V [v]
 Number of controllers: 1
 MPP Operating voltage: 60-145 V
 Input maximum voltage: 150 V
 Controller's power: 3.60 kW
 Associated Battery: 48 V

PV Array design
Number of modules and strings
 Mod. in series: 2 should be: between 2 and 2
 Nbre strings: 5 between 5 and 8
 Overload loss: 0.0 %
 Pnom ratio: 0.96
Nb. modules: 10 Area: 20 m²

Operating conditions:
 Vmpp (60°C) 67 V
 Vmpp (20°C) 80 V
 Voc (-10°C) 107 V
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Imp (STC) 44.3 A
 Isc (STC) 47.1 A
 Isc (at STC) 46.4 A

The controller power is slightly oversized.
 Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 3.1 kW
Array nom. Power (STC): 3.5 kWp

Figure 3.9 Nombre de module PV et le type de régulateur de notre système.

A partir de la figure on voit que :

- La puissance crête est de : **Pc = 4368 Wc**,
- Le nombre de modules est de: **10**.
- Le régulateur est de type : **MPPT 48V- 65A**.
- La surface du champ est de : **20 m²**.

III.2.6 Système batteries solaires

Après avoir effectuée l'étape précédente, on sauvegarde et on clique sur « Ok » pour valider. Ensuite, on peut voir notre système en cliquant sur « système », et on aura la figure suivante

The screenshot displays a software interface for solar system pre-sizing. At the top, there are tabs for 'Specified User's needs', 'Pre-sizing suggestions', and 'System summary'. The 'Specified User's needs' section shows: Av. daily needs: 19.3 kWh/day; Enter accepted PLOL: 10.0 %; Enter requested autonomy: 3.0 day(s); Battery (user) voltage: 48 V. The 'Pre-sizing suggestions' section shows: Suggested capacity: 1987 Ah; Suggested PV power: 4368 Wp (nom.). A 'Detailed pre-sizing' button is visible.

Below this, there are tabs for 'Storage', 'PV Array', 'Back-Up', and 'Simplified Schema'. The 'Procedure' section lists four steps: 1. Pre-sizing (Define desired conditions), 2. Storage (Define battery pack), 3. PV Array design (Design PV array and control mode), and 4. Back-Up (Define eventual Genset).

The 'Specify the Battery set' section allows sorting batteries by voltage, capacity, or manufacturer. The selected battery is 'Exide Classic', 12V, 103Ah, Pb Open Tub, OPzS Solar 140. The battery pack configuration is: 4 batteries in series, 19 batteries in parallel. The resulting pack specifications are: Battery pack voltage: 48V; Global capacity: 1957 Ah; Stored energy (80% DOD): 75.1 kWh; Total weight: 3192 kg; Nb. cycles at 80% DOD: 992; Total stored energy during the battery life: 83 MWh. Initial State of Wear (nb. of cycles) and (static) are both set to 100.0%.

The 'Operating battery temperature' section shows 'Temper. mode' set to 'Average between T_{Amb.} and Fixed' and 'Fixed temperature' set to 27 °C. A warning message states: 'The controller power is slightly oversized.'

At the bottom, there are 'Cancel' and 'OK' buttons.

Figure 3.10 Nombre de batteries de notre système sans tenir compte de la profondeur de décharge.

A partir de la figure on voit que :

- Tension du système : $U = 48V$.
- Nombre de batteries en série : $N_{bs} = 4$.
- Nombre de branches parallèles : $N_{bp} = 19$.
- Nombre total de batteries : $N_{tot,batt} = 76$.
- Capacité globale : $C = 1957 \text{ Ah}$.

III.3 Résultats finaux

Les principaux résultats de la simulation sur PVsyst seront présentés sous forme de graphiques et de tableaux et un rapport final sera donné par la suite.

PVSYST V6.81		22/09/22	Page 1/5
Stand alone system: Simulation parameters			
Project :	karim		
Geographical Site	EI hammadia	Country	Algeria
Situation	Latitude	35.98° N	Longitude 4.75° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+1	Altitude 837 m
	Albedo	0.20	
Meteo data:	EI hammadia	Meteonorm 7.2 (1991-2000), Sat=100% - Synthetic	
Simulation variant :	New simulation variant		
	Simulation date	22/09/22 23h38	
Simulation parameters	System type	Stand alone system with batteries	
Collector Plane Orientation	Tilt	35°	Azimuth 1°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
User's needs :	Daily household consumers average	Constant over the year 19.3 kWh/Day	
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	JKM 345PP-72-DV
Original PVsyst database	Manufacturer	Jinkosolar	
Number of PV modules	In series	2 modules	In parallel 5 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	10	Unit Nom. Power 345 Wp
Array global power	Nominal (STC)	3450 Wp	At operating cond. 3123 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	71 V	I mpp 44 A
Total area	Module area	19.5 m²	Cell area 17.5 m²
System Parameter			
	System type	Stand alone system	
Battery	Model	OPzS Solar 140	
	Manufacturer	Exide Classic	
Battery Pack Characteristics	Nb. of units	4 in series x 19 in parallel	
	Voltage	48 V	Nominal Capacity 1957 Ah
	Discharging min. SOC	20.0 %	Stored energy 75.1 kWh
	Temperature	Average between fixed (27°C) and External	
Controller			
	Model	FLEXmax 60 - 48V	
	Manufacturer	Outback	
	Technology	MPPT converter	Temp coeff. -5.0 mV/°C/elem.
Converter	Maxi and EURO efficiencies	98.1 / 96.8 %	
Battery Management control	Threshold commands as	Battery voltage	
	Charging	53.5 / 50.1 V	Corresp. SOC 0.92 / 0.75
	Discharging	47.1 / 48.9 V	Corresp. SOC 0.20 / 0.45
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	27 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 0.9 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05

Stand alone system: Detailed User's needs

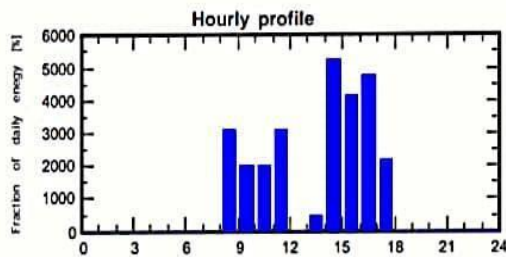
Project : karim
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 1°
PV modules	Model	JKM 345PP-72-DV	Pnom 345 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total 3450 Wp
Battery	Model	OPzS Solar 140	Technology Lead-acid, vented, tubu
Battery Pack	Nb. of units	76	Voltage / Capacity 48 V / 1957 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 7053 kWh/year

Daily household consumers, Constant over the year, average = 19.3 kWh/day

Annual values

Use 5 days a week	Number	Power	Use	Energy
Lamps Classes	96	12 W/lamp	4 h/day	4608 Wh/day
PC	20	100 W/app	7 h/day	14000 Wh/day
Climatiseur	1		4 Wh/day	4000 Wh/day
entre pcpl	104	12 W tot	2 h/day	2496 Wh/day
Imprimantes	4	237 W tot	2 h/day	1896 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	24 Wh/day
Total daily energy				27024 Wh/day



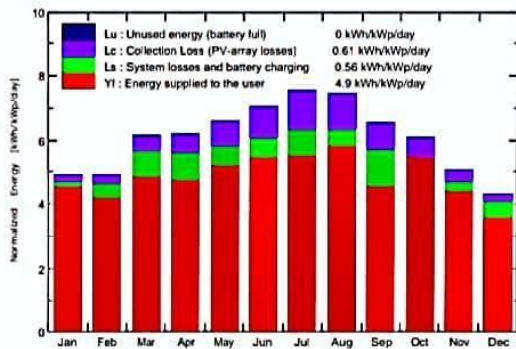
Stand alone system: Main results

Project : karim
Simulation variant : New simulation variant

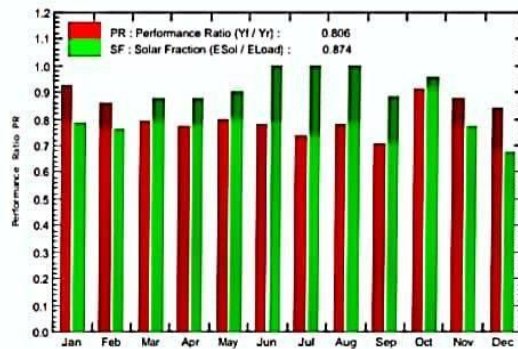
Main system parameters		System type	Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth 1°
PV modules		Model	JKM 345PP-72-DV	Pnom 345 Wp
PV Array		Nb. of modules	10	Pnom total 3450 Wp
Battery		Model	OPzS Solar 140	Technology Lead-acid, vented, tubular
Battery Pack		Nb. of units	76	Voltage / Capacity 48 V / 1957 Ah
User's needs	Daily household consumers		Constant over the year	Global 7053 kWh/year

Main simulation results		Available Energy	6693 kWh/year	Specific prod.	1940 kWh/kWp/year
System Production		Used Energy	6164 kWh/year	Excess (unused)	0 kWh/year
		Performance Ratio PR	80.63 %	Solar Fraction SF	87.40 %
Loss of Load		Time Fraction	15.1 %	Missing Energy	889 kWh/year
Battery ageing (State of Wear)		Cycles SOW	96.9%	Static SOW	80.0%
		Battery lifetime	5.0 years		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3450 Wp



Performance Ratio PR and Solar Fraction SF



**New simulation variant
Balances and main results**

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
January	90.7	149.8	491.9	0.000	133.9	487.7	621.6	0.785
February	98.1	135.1	441.3	0.016	130.8	409.7	540.5	0.758
March	154.9	186.0	591.5	0.000	74.3	520.2	594.5	0.875
April	175.6	180.3	568.5	0.000	72.1	495.4	567.5	0.873
May	215.9	197.0	607.2	0.016	63.1	558.4	621.6	0.898
June	236.9	204.9	614.7	0.016	0.0	567.5	567.5	1.000
July	253.9	226.4	661.9	0.000	2.2	592.4	594.5	0.996
August	225.4	224.4	659.5	0.031	0.0	621.6	621.6	1.000
September	167.0	190.5	579.3	0.000	65.1	475.3	540.5	0.879
October	135.6	184.0	570.5	0.032	29.2	592.4	621.6	0.953
November	95.0	148.2	478.6	0.017	135.1	459.5	594.5	0.773
December	77.4	130.0	428.4	0.000	183.2	384.3	567.5	0.677
Year	1926.5	2156.7	6693.2	0.128	889.0	6164.3	7053.3	0.874

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation E_Miss Missing energy
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings E_User Energy supplied to the user
 E_Avail Available Solar Energy E_Load Energy need of the user (Load)
 EUnused Unused energy (battery full) SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

III.3.1 Résultats de la simulation et discussions

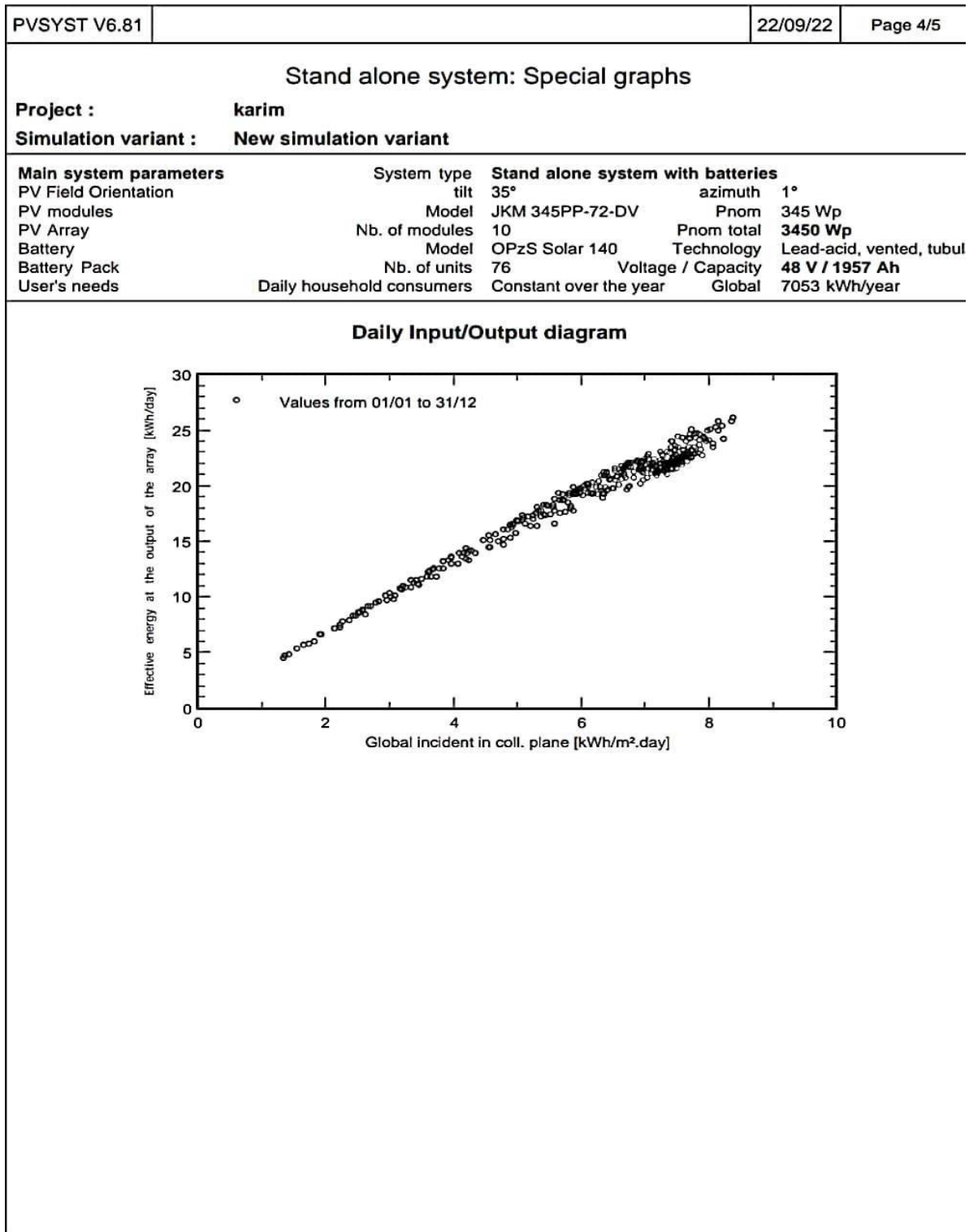


Figure 3.11 Diagramme d'entrée/sortie journalier de notre système.

Le diagramme d'entrée/sortie implique l'énergie produite par le système en fonction de l'irradiation d'entrée. Idéalement l'énergie absorbée devrait augmenter d'une façon linéaire

avec l'irradiation à tout moment, ce graphique permet d'avoir une idée de la façon dont fonctionne le système et il donne les indications sur les jours inefficaces, et aussi il doit être aussi fort que possible sous-entendant fraction d'absorption bénéfique de l'énergie solaire, en d'autres termes une bonne efficacité de module.

Tous les points, il existe 365 correspondants à tous les jours de l'année, ils représentent la moyenne irradiation incidente de chaque jour et l'absorption correspondante.

III.3.2 Diagramme des pertes

Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

Le diagramme des pertes donne un aperçu rapide de la qualité de la conception d'un système photovoltaïque, en identifiant les principales sources de pertes. Les petits boutons permettent de regrouper les pertes en sujets généraux (météo et optique, réseau photovoltaïque, système, utilisation d'énergie) ou pour étendre tout sujet à des pertes détaillées.

Le diagramme de perte est disponible pour toute l'année, ou pour chaque mois afin d'évaluer les effets saisonniers de pertes particulières. Dans les systèmes autonomes, le diagramme donne un détail de l'utilisation de la batterie, c'est-à-dire quelle partie de l'énergie transite efficacement par la batterie. La minimisation de l'utilisation de la batterie est d'une certaine importance pour la vie (nombre de cycles de charge / décharge).

PVSYST V6.81		22/09/22	Page 5/5
Stand alone system: Loss diagram			
Project :	karim		
Simulation variant :	New simulation variant		
Main system parameters	System type	Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 1°
PV modules	Model	JKM 345PP-72-DV	Pnom 345 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total 3450 Wp
Battery	Model	OPzS Solar 140	Technology Lead-acid, vented, tubul.
Battery Pack	Nb. of units	76	Voltage / Capacity 48 V / 1957 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 7053 kWh/year

Loss diagram over the whole year

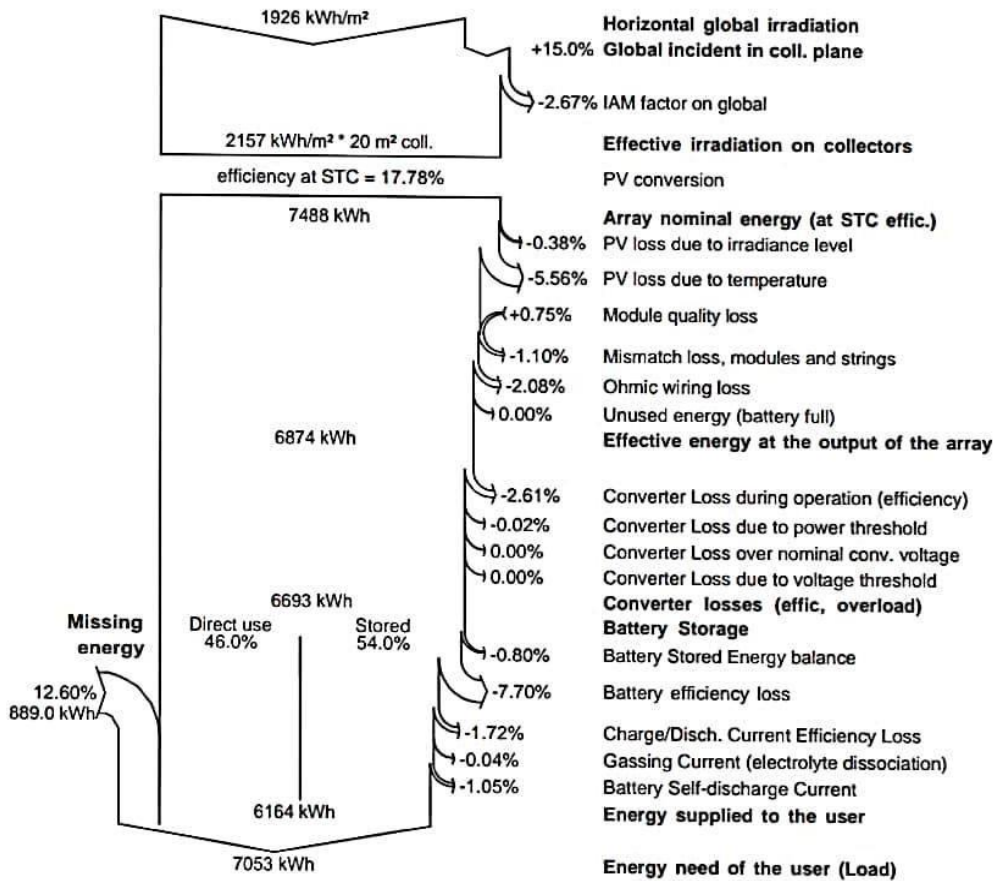


Figure 3.12 Diagramme des pertes du système sur l'année entière

III.4 Etude technico économique

III.4.1 Estimation du prix de nôtre installation photovoltaïque autonome

Caractéristiques et prix des composants [29] :

Panneau photovoltaïque : JKM 345PP-72-DV

Prix d'un panneau: 30 078 DA

Batteries solaires : OPzS SOLAR 140

Prix d'une batterie : 67 207 DA

Régulateur : **FLEXmax 60-48 V**

Prix d'un régulateur : 94 713 DA

Simulation avec le logiciel PVsyst

The screenshot displays the PVsyst software interface for a project named 'karim.PRJ'. The 'Project's designation' section includes the following details:

- File name: karim.PRJ
- Project's name: karim grid
- Site File: el hammadia_MN72.SIT
- Meteorology: Meteororm 7.2 (1991-2000), Sat=100%
- Location: Algeria
- Meteo File: El hammadia_MN72_SYN.MET
- Meteorology: Meteororm 7.2 (1991-2000), Sat=100%
- System type: Synthetic
- Distance: 0 km

A message indicates 'Simulation done (version 6.81, date 27/09/22)'. The 'System Variant (calculation version)' section shows 'Variant n° VCO : New simulation variant'. The 'Input parameters' are divided into 'Main parameters' and 'Optional' sections:

- Main parameters:** Orientation, System, Detailed losses, Self-consumption, Storage.
- Optional:** Horizon, Near Shadings, Module layout, Energy manag., Economic eval.

The 'Simulation' section contains buttons for 'Run Simulation', 'Advanced Simul.', 'Report', and 'Detailed results'. The 'Results overview' section shows the following data:

System kind: No 3D scene defined, no shadings	
System Production	4991 kWh/yr
Specific production	1808 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.816
Normalized production	4.95 kWh/kWp/day
Array losses	0.77 kWh/kWp/day
System losses	0.35 kWh/kWp/day

At the bottom of the interface, there are buttons for 'System overview' and 'Exit'.

The screenshot displays the 'Economic evaluation' software interface. It includes a 'Project and Simulation variant' section with details like 'Project: karim new', 'Simulation: tp pvsyst', 'PV Array, Pnom = 3.5 kWp', and 'System: Stand alone system'. A warning message states 'Operating costs amount is null'. The 'Investment and charges' section shows a table of components: PV modules (300780.00 DZD), Supports for modules (30000.00 DZD), Batteries (5107732.00 DZD), and Controllers (94713.00 DZD), with a total gross investment of 5533225.00 DZD. The 'Financing' section shows 'Own funds' of 5533225.00 DZD and a loan of 0.00 DZD. The 'Operating costs (yearly)' section shows a project lifetime of 30 years and inflation of 0.00%/year, resulting in zero operating costs (OPEX). The 'System summary' shows a self-consumption of 6036 kWh/year, excess energy of 0.1 kWh/year, total yearly cost of 0.00 DZD/year, and used energy cost of 30.557 DZD/kWh.

On ajoutant au prix des composants, le prix de l’installation donnée par une entreprise d’installations photovoltaïques qui est de : 101 983 DA
 Donc le prix total sera de : $5\,533\,225 + 101\,983 = 5\,635\,208$ DA.

III.4.2 durée de vie de system

La durée de vie d’utilité d’un projet correspond à la période durant laquelle l’investissement continue à produire de l’électricité. Tandis que sa durée de vie économique correspond à la période durant laquelle l’investissement produit à un coût minime compte tenu des exigences demandées.

La durée de vie d’un système photovoltaïque est estimée à 30 ans, une certaine garantie de production est donnée à 90% jusqu’à 12 ans et de 80% jusqu’à 30 ans).

III.5 Conclusion

_ Dans ce chapitre nous avons effectué une étude technico-économique d'un système autonome assurant les besoins électriques du CEM Sahed Mohamed, sise à la commune d'El-Hamadia, Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

_ Ce CEM se compose de 24 salles, administration, cour, restaurant, amphi, sanitaire, salle informatique. Et pour assurer une alimentation électrique fiable et continue de ce CEM nous avons déterminé, en premier lieu, les appareils consommateurs et leurs puissance ainsi que leur durée d'utilisation,. Ensuite nous avons utilisé le logiciel PV-Syst pour dimensionner les différents éléments de l'installation photovoltaïque à savoir les modules PV, l'onduleur chargeur, les batteries et le câblage et une Etude technico économique de ce system.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif principal de ce mémoire était de faire une étude d'un projet destiné à produire de l'énergie électrique de manière autonome pour alimentation d'un CEM à la commune d'El - Hamidia, willaya de Bordj Bou Arreridj, à partir de l'énergie solaire en utilisant un système photovoltaïque.

Pour cela, nous avons divisé notre travail en trois chapitres : un chapitre traitant des généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque, un chapitre descriptif des systèmes PV autonomes et leur dimensionnement et un troisième chapitre où nous avons présenté une étude technicoéconomique d'un projet photovoltaïque autonome pour une école à Bordj Bou Arreridj.

En utilisant le logiciel PVSyst, nous avons déterminé le dimensionnement des différents composants du système photovoltaïque, pour l'alimentation électrique des différents équipements du CEM dont l'éclairage.

Ce CEM se compose de 24 salles, une administration, une cour, un restaurant, un amphithéâtre, des sanitaire et salle informatique.

Nous avons déterminé, en premier lieu, les appareils consommateurs et leurs puissances ainsi que leur durée d'utilisation, et ce, pour calculer le besoin énergétique de ces appareils.

Ensuite, nous avons choisi un plan (des panneaux solaires) incliné et orienté vers le plein sud, d'une inclinaison 35° pour produire le plus possible d'énergie avec des soleils bas.

En fin, nous avons utilisé le logiciel PV-Syst pour dimensionner les différents éléments de l'installation photovoltaïque à savoir les modules PV, l'onduleur chargeur, les batteries et le câblage.

Références Bibliographiques

- [1] - Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers : « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », deuxième édition, Berlin 2010
- [2] Anne. Laure Hanff , Olivier bertrand et Benoit, guide pratique 2006 à l'usage des entreprises en lorraine . Mireille Wagner, Directeur Général de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Moselle, mars 2006.
- [3] <https://climate.selectra.com/fr/comprendre/energie-renouvelable>
- [4] <https://www.connaissancedesenergies.org/fichepedagogique/energie-solaire-exploitation>
- [5] Ministère de l'énergie et des mines : «site internet», Conception et réalisation SATINFO, et Société du Groupe Sonelgaz, programme des énergies et de l'efficacité, Mars 2011 (2011).
- [6] <https://meteosorguaiseetavignonnaise.com/les-nuages.html>
- [7] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Saison.html>
- [8] - M. SENECHAL, Cours Photovoltaïque Université de Lille, France 2017
- [9] - <https://www.etoile-des-enfants.ch/article1635.html>
- [10] - Anne Labouret, Michel Viloz : « Energie solaire photovoltaïque », Dunod 3ème édition 2006
- [11] - Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers : « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », deuxième édition, Berlin 2010
- [12] - <https://total.direct-energie.com/>
- [13] - A. BORNJ, « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale D'une panneau solaire « Mémoire Ingénieur, d'Etat université MENTOURI de Constantine.
- [14] - S. ABOUDA, « Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques: Application aux systèmes de pompage » Thèse de doctorat, co-tutelle de l'Université de Reims Champagne-Ardenne et de l'Université de Sfax.
- [15] - Alain Ricaud. << Systèmes photovoltaïques >>. Polytech' Savoie 5eme année Oct 2011
- [16] - A. Saadi « Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, université Mohammed Khider, Biskra, 2001.
- [17] - B. Mamri, M. Zaidi « contribution du système photovoltaïque avec pompage »,

Mémoire d'ingénieur , Université de Constantine, 2006.

[18] - Belaiche Hacene « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au cder » Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2017

[19] - F. Zouache, « Etude de la concentration solaire sur les performances des systèmes Photovoltaïques », mémoire de magister de l'université de Constantine 2009.

[20] - R.P.Mukund, « Systèmes éoliens et solaires », Thèse de doctorat, Université Merchant Marine états-unis, 1999.

[21] - <https://www.ummt0.dz/pnr-2-sur-la-securite-energetique/>

[22]-(<https://www.interieur.gov.dz/images/Prsentation-du-modle-de-consommation-nergtique-au-niveau-des-communes.pdf>)

[23](<http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/energiephotovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>)

[24]<http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/1energiephotovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>

[25] <https://faq.hellio.com/definition-systeme-photovoltaique-autonome>

[26] https://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/maison-photovoltaique-autonome/

[27] <https://www.energy.gov.dz/rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>

[28] <https://www.pvsyst.com/fr/>

[29] Tounsia BEN KHEMMOU, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER » mémoire de fin d'étude de master académique,UMMTO, 2014.