

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° :

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ENERGIE RENOUVELABLE

OPTION : HYDROGENE VERT

**Mémoire présenté pour l'obtention**

**Du diplôme de Master Académique**

Par : RACHA SALAMANI

**Intitulé**

*Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque avec développement d'un système de collecte et de surveillance des données.*

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. ....	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. ....	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. ....	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
Dr. ....	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 20... /20...

**Dédicace**

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents*

*À mon cher père SALAMANI RAMDANE*

*À ma chère mère SALEM FATIHA*

*À toute ma famille SALAMANI*

*À ma chère grand-mère*

*À mon frères : RACHED TAHER*

*À mes sœurs :*

*NADA, RANIA, DOUAA, DJOUMANA*

*A mon professeur encadré DJERIOUI ALI*

*Et a tous mes amis.*

*A tous mes collègues de la promotion 2025*

## Remerciements

*Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant pour*

*M'a donné la force, le courage et la patience.*

*Terminer cette recherche.*

*Je remercie sincèrement mon superviseur, M. Ali Djrioui, pour ses remarques, ses conseils précieux et ses critiques constructives.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à : Hamza Bahri,*

*Khaled Ben Zaoui,*

*J'adresse également mes plus sincères remerciements :*

*Tous les professeurs du département de génie électrique de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour leurs précieux conseils.*

## **Abstract**

Solar energy is one of the most prominent sources of renewable energy, characterized by its abundance, sustainability, and cleanliness, making it an ideal choice for electricity generation in light of environmental challenges and the increasing demand for energy. In this context, this work addressed the study of an independent photovoltaic system, starting from the analysis of its main components, through the precise design process using the PVsyst software, where the required energy, number of panels, battery capacity, charge controller, and necessary elements to ensure the stability and efficiency of the system were determined. After completing the theoretical aspect, an intelligent system was developed based on Internet of Things (IoT) technologies, aimed at monitoring the surrounding climatic conditions that may affect the efficiency of the solar system. The ESP32 microcontroller was used to connect the DHT11 sensor to measure temperature and humidity, along with the YL-83 sensor to detect rainfall. This data is processed in real-time at the ESP32 level and sent via Wi-Fi to the Blynk application, which allows it to be displayed on mobile phones through a simplified visual interface. This system allows for real-time monitoring of environmental variables, contributing to a clear understanding of the conditions surrounding solar panels. It facilitates informed technical decisions regarding maintenance or optimal energy utilization, moving towards smarter and more sustainable energy systems.

**Keywords:** Photovoltaic, design, Internet of Things, Wi-Fi, ESP32, Blynk.

## ملخص

تُعد الطاقة الشمسية من أبرز مصادر الطاقة المتجددة، لما تتميز به من وفرة واستدامة ونظافة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا لتوليد الكهرباء في ظل التحديات البيئية والطلب المتزايد على الطاقة. في هذا السياق، تناول هذا العمل دراسة منظومة كهروضوئية مستقلة، انطلاقًا من تحليل مكوناتها الرئيسية، مرورًا بعملية التصميم الدقيق (dimensionnement) باستخدام برنامج PVsyst، حيث تم تحديد الطاقة المطلوبة، وعدد الألواح، وسعة البطارية، ومنظم الشحن، والعناصر اللازمة لضمان استقرار وفعالية النظام. بعد استكمال الجانب النظري، تم تطوير نظام ذكي يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، يهدف إلى مراقبة الظروف المناخية المحيطة التي قد تؤثر على فعالية المنظومة الشمسية. تم استخدام وحدة التحكم ESP32 لربط مستشعر DHT11 لقياس درجة الحرارة والرطوبة، إلى جانب مستشعر YL-83 لاكتشاف تساقط الأمطار. تُعالج هذه البيانات في الزمن الحقيقي على مستوى ESP32، وتُرسل عبر شبكة Wi-Fi إلى تطبيق Blynk، الذي يتيح عرضها على الهاتف المحمول من خلال واجهة مرئية مبسطة. يسمح هذا النظام بمتابعة المتغيرات البيئية لحظة بلحظة، مما يسهم في توفير رؤية واضحة حول الظروف المحيطة بالألواح الشمسية، ويُسهل اتخاذ قرارات تقنية مدروسة تتعلق بالصيانة أو الاستغلال الأمثل للطاقة، في خطوة نحو أنظمة طاقة ذكاء واستدامة.

**الكلمات المفتاحية:** نظام الطاقة الشمسية، التصميم، الأجهزة المتصلة، الواي فاي، ESP32، Blynk.

## **Résumé**

L'énergie solaire est l'une des principales sources d'énergie renouvelable, en raison de sa disponibilité, de sa durabilité et de sa propreté, ce qui en fait un choix idéal pour la production d'électricité face aux défis environnementaux et à la demande croissante d'énergie. Dans ce contexte, ce travail a porté sur l'étude d'un système photovoltaïque autonome, en commençant par l'analyse de ses composants principaux, en passant par le processus de dimensionnement précis à l'aide du logiciel PVsyst, où l'énergie requise, le nombre de panneaux, la capacité de la batterie, le régulateur de charge, et les éléments nécessaires pour garantir la stabilité et l'efficacité du système ont été déterminés. Après avoir terminé la partie théorique, un système intelligent basé sur les technologies de l'Internet des objets (IoT) a été développé, visant à surveiller les conditions climatiques environnantes qui pourraient affecter l'efficacité du système solaire. Le contrôleur ESP32 a été utilisé pour connecter le capteur DHT11 pour mesurer la température et l'humidité, ainsi que le capteur YL-83 pour détecter les précipitations. Ces données sont traitées en temps réel au niveau de l'ESP32 et envoyées via le réseau Wi-Fi à l'application Blynk, qui permet de les afficher sur un téléphone mobile à travers une interface visuelle simplifiée. Ce système permet de suivre les variables environnementales en temps réel, ce qui contribue à fournir une vision claire des conditions entourant les panneaux solaires, et facilite la prise de décisions techniques réfléchies concernant la maintenance ou l'optimisation de l'énergie, dans une démarche vers des systèmes énergétiques plus intelligents et durables.

**Mots clés :** Système photovoltaïque, dimensionnement, les objets connecté, Wi-Fi, ESP32, Blynk.

## Liste des figures

Figure I-1.Le soleil source de l'énergie solaire.....	7
Figure I-2.Composants du rayonnement solaire. ....	8
Figure I-3.Types de rayonnements solaires reçus au sol. ....	8
Figure I-4.Composants de la cellule PV. ....	10
Figure I-5.Synoptique d'une cellule solaire.....	10
Figure I-6.Schéma block d'une cellule PV.....	11
Figure I-7.Jonction PN d'un Cellule Photovoltaïque.....	11
Figure I-8.Cellules monocristallines. ....	11
Figure I-9.Cellules Polycristallines. ....	12
Figure I-10.Cellule Photovoltaïque amorphe.....	12
Figure I-11.Systeme autonome. ....	13
Figure I-12.Système PV raccordé au réseau. ....	13
Figure I-13.Systeme PV hybrid.....	14
Figure I-14.Associations en série des cellules PV. ....	15
Figure I-15.Associations en parallèle des cellules PV. ....	15
Figure I-16.Schématisation d'un générateur photovoltaïque élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour. ....	16
Figure I-18.Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle. ....	17
Figure.I-19.Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du module PV sous diverses irradiations. ....	19
Figure I-20.Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du module PV sous différentes températures. ....	20
Figure II-1.Synoptique de l'altitude et la longitude. ....	27
Figure II-2.Vue de face de la maison. ....	32
Figure II-3.Présentation site de Pole Univ PV Msila par site de web PVGIS.....	33
Figure II-4.Schéma de température moyenne année 2020. ....	34
Figure II-5. Schéma d'irradiation moyenne année 2020. ....	34
Figure II-6.Irradiation moyenne année 2020. ....	34
Figure II-7.Schéma général de la maison. ....	36
Figure II-8.Les options de logiciel Pvsyst. ....	37
Figure II-9. Importer de site géographique. ....	38
Figure II-10.Donnée les paramètres de site géographique. ....	39
Figure II-11.Enregistrer site géographique. ....	39
Figure II-12.Conception du projet.....	40
Figure II-13.Définition Orientation et Horizon.....	40
Figure II-14.Consommation d'énergie par jour. ....	41

Figure II-15.choix de batterie.....	41
Figure II-16.Choix de panneau. ....	42
Figure II-17.Schéma de system PV et choix de régulateur et convertisseur. ....	42
Figure II-18.simulation dans système PV.....	43
Figure II-19.Energie incidente de référence dans le plan capteur.....	43
Figure II-20.Productions normalisées (par kwp installé) .....	44
Figure II-21.Facteurs normalisés de production et de pertes : puissance nominale750wc. ....	44
Figure II-22.Diagramme d'entrée/sortie journalier. ....	45
Figure II-23.Energie journalisée à la sortie du champ.....	45
Figure III-1.L'internet des objets (IoT).....	48
Figure III-2.Système de surveillance domestique basé sur l'IoT. ....	49
Figure III-3.Les capteurs utilisés dans le système.....	49
Figure III-4.Panneau solaire.....	49
Figure III-5.Onduleur. ....	50
Figure III-6. Batterie.....	50
Figure III-7.Le régulateur de tension.....	50
Figure III-8. La carte ESP32. ....	51
Figure III-9.Le branchement de l'ESP 32.....	52
Figure III-10.Capteur de température et d'humidité de l'air (DHT11). ....	52
Figure III-11.Capteur de température et d'humidité DHT11 avec ESP32.....	53
Figure III-12.Capteur de pluie.....	53
Figure III-13.Capteur de pluie avec ESP32. ....	54
Figure III-14.Les composants électriques.....	54
Figure III-16.Les capteurs utilisés dans le système.....	55
Figure III-17.Test de système. ....	55
Figure III-18.L'installation finale.....	56
Figure III-19.Diagramme pour le code Arduino. ....	56
Figure III-20.la structure pour le code Esp. ....	57
Figure III-21.Création du compte Blynk .....	57
Figure III-22.Création d'un projet et d'un appareil.....	58
Figure III-23.Configuration du bouton de commande. ....	58
Figure III-24.le programme Arduino IDE .....	58
Figure III-25.Surveillance de la performance des panneaux solaires via l'application Blynk sur PC. .....	59
Figure III-26.Représentation graphique des données environnementales (température, humidité, état de la pluie) en temps réel via la plateforme Blynk .....	59
Figure III-27.Interface d'application pour afficher les données de température, d'humidité et de détection de pluie en temps réel. ....	60

Figure III-28.Installation complète du système solaire avec surveillance environnementale en temps réel via Blynk. .... 60

## Listes des tableaux

Tableau I-1. Caractéristiques électriques typiques du panneau PV .....	21
Tableau II-1. Le choix de tension de système.....	29
Tableau II-2: Le choix des appareils de protection .....	32
Tableau II-3: Présentation de site.....	33
Tableau II-4: Températures moyenne année 2020 .....	33
Tableau II-5: Caractéristiques de module utiliser .....	35
Tableau II-6. Caractéristiques de batterie utiliser. ....	35

## **Glossaire**

AC	Courant alternatif
DC	Courant continu
GPV	Générateur photovoltaïque
IoT	Internet des Objets
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PV	Photovoltaïque
DHT11	Capteur numérique d'humidité et de température
YL-83	Unité de détection des pluies

## Nomenclature

$V_{cos}$	La somme des tensions en circuit ouvert de $N_s$ cellules en série.
$I_{ccs}$	Courant de court-circuit de $N_s$ cellules en série.
$I_{ccp}$	La somme des courants de court circuit de ( $N_p$ ) cellule en parallèle.
$V_{cop}$	La tension du circuit ouvert de ( $N_p$ ) cellules en parallèle.
$V_{cell}$	La tension aux bornes de la cellule.
$I_{cell}$	Le courant fournie par la cellule.
$I_{sc}$	Le courant de court-circuit.
$V_{oc}$	La tension de circuit-ouvert.
$V$	Le facteur d'idéalité de la jonction.
$E_g$	L'énergie du band gap.
$A$	Coefficient de température de $I_{ph}$ .
$S$	Surface PV.
$E_c$	L'énergie journalière consommé.
$K$	Constant des pertes L'énergie (0.65- 0.75).
$I_r$	Irradiation (kW/m <sup>2</sup> /j).
$N_{pt}$	Le nombre total des modules.
$P_p$	La puissance d'un panneau choisi.
$N_{pp}$	Le nombre des panneaux parallèles.
$N_{ps}$	Le nombre des module série.
$V_{opt}$	La tension d'un panneau choisi optimale.
$V_{sys}$	La tension de système.
$C_t$	Capacité totale des batteries.
$N_{ja}$	Nombre de jour d'autonomie.
$DOD$	Décharge maximale de la batterie (%).

<i>C<sub>b</sub></i>	Capacité de batterie choisi.
<i>R</i>	Resistance de câble.
<i>I</i>	Le courant Passant sur le câble.
<i>ΔU</i>	La chute de tension.
<i>P</i>	La résistivité de câble : 0.000016 - 0.000017 pour le cuivre.
<i>L</i>	La longueur des câbles.
<i>S</i>	Section de câble.

## Sommaire

Introduction générale .....	2
<b>Chapitre I Généralité sur le système photovoltaïque.....</b>	<b>5</b>
I.1. Introduction .....	5
I.2. L'énergie renouvelable .....	5
I.2.1. Types d'énergie renouvelables .....	6
I.2.1.1. L'énergie éolienne.....	6
I.2.1.2. L'énergie hydraulique .....	6
I.2.1.3. L'énergie géothermique .....	6
I.2.1.4. L'énergie biomasse .....	6
I.2.1.5. L'énergie solaire.....	7
I.2.1.6. Rayonnement solaire .....	7
I.2.2. Description de la cellule photovoltaïque.....	9
I.2.3. Structure d'une cellule photovoltaïque .....	9
I.2.4. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque .....	10
I.2.5. Les types de cellules photovoltaïques .....	11
I.2.5.1 La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin .....	11
I.2.5.2 La cellule photovoltaïque en Silicium polycristalline .....	12
I.2.5.3 La cellule photovoltaïque en Silicium Amorphe.....	12
I.3. Différents types de système PV .....	12
I.3.1. Système autonome .....	12
I.3.2. Système PV raccordé au réseau .....	13
I.3.3. Système PV hybride.....	13
I.4. Les différents branchements des panneaux PV .....	14
I.4.1. Branchement en série .....	14
I.4.2. branchement en parallèle.....	15
I.4.3. Association hybride.....	15
I.5. Protections d'un générateur photovoltaïque.....	16
I.5.1. La diode anti-retour.....	16
I.5.2. Les diodes by-pass .....	16
I.6. Cellule photovoltaïque réelle (modèle réel) .....	17
I.7. Paramètres of PV module.....	18
I.7.1. Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) .....	18
I.7.2. Tension à circuit ouvert ( $V_{co}$ ) .....	18
I.7.3. Facteur de forme ( $FF$ ) .....	18
I.7.4. Facteur de qualité ( $FQ$ ) .....	18
I.7.5. Rendement d'une cellule solaire ( $\eta_c$ ).....	19
I.8. Influence des paramètres externes sur les caractéristiques du module PV .....	19
I.8.1. Effet de l'irradiation .....	19
I.8.2. Influence de la température .....	20
I.8.3. Simulation d'un module PV .....	20
I.9. Conclusion.....	21
<b>Chapitre II. Dimensionnement d'un système photovoltaïque :.....</b>	<b>26</b>
II.1. Introduction .....	26
II.2. Les étapes de dimensionnement d'un système PV .....	26
II.2.1. Etape 01 .....	27
II.2.1.1. Présentation de site .....	27
II.2.2. Etape 02.....	28
II.2.2.1. Estimation des récepteurs .....	28
II.2.2.2. Le besoin journalier énergétique .....	28
II.2.3. Etape 03.....	28

II.2.3.1. Calcul de la puissance crête $P_c$ .....	28
II.2.3.2. Calcul le nombre des modules .....	29
II.2.3.3. Le choix de tension de système .....	29
II.2.4. Etape 04 .....	29
II.2.4.1. Dimensionnement de capacité des batteries .....	29
II.2.4.2. Calcul le nombre de batterie .....	30
II.2.5. Etape 05 .....	30
II.2.5.1. Le choix de Régulateur .....	30
II.2.6. Etape 06 .....	31
II.2.6.1. Le choix d'onduleur .....	31
II.2.7. Etape 07 .....	31
II.2.7.1. Dimensionnement des câbles .....	31
II.2.8. Etape 08 .....	31
II.2.8.1. Le choix des Appareils de protection .....	31
II.3. Application de conception de système solaire .....	32
II.3.1. Présentation de site .....	32
II.3.2. Identification du site .....	32
II.3.3. La temperature Moyenne .....	33
II.3.4. L'irradiation Moyenne .....	34
II.3.5. Estimation des récepteurs .....	34
II.3.6. Calcul de la puissance crête $P_c$ .....	34
II.3.7. Le choix de tension de système .....	35
II.3.8. Calcul le nombre des modules .....	35
II.3.9. Calcul le nombre de capacité des batteries .....	35
II.3.9.1. Calcul le nombre de batterie .....	35
II.3.10. Le choix de Régulateur .....	36
II.3.11. Le choix d'onduleur .....	36
II.4. Dimensionnement d'un système PV par logiciel PVsyst .....	36
II.4.1. Définition logiciel PVsyst .....	36
II.4.2. Les options de logiciel PVsyst .....	37
II.4.3. Application logiciel Pvsyst .....	38
II.4.3.1. Importer de site géographique .....	38
II.4.3.2. Saisie et définition des données géographiques .....	39
II.4.3.3. Evaluation mode de projet .....	40
II.5. Résultats détaillés .....	43
II.5.1. Energie incidente de référence dans le plan capteur .....	43
II.5.2. Productions normalisées (par kwp installé) .....	43
II.5.3. Facteurs normalisés de production et de pertes .....	44
II.5.4. Diagramme d'entrée/sortie journalier .....	45
II.5.5. Energie journalisée à la sortie du champ .....	45
II.6. Conclusion .....	46
<b>Chapitre III. Matériels et méthodes .....</b>	<b>48</b>
III.1. Introduction .....	48
III.2. L'internet des objets (IoT) .....	48
III.3. Architecture des systèmes photovoltaïques solaires basés sur l'IoT .....	49
III.4. Outils de conception matérielle et logicielle .....	49
III.5. Les composants électrique .....	49
III.5.1. Panneaux salaries photovoltaïques .....	49
III.5.2. Onduleur .....	50
III.5.3. Batterie .....	50
III.5.4. Le régulateur .....	50
III.6. Les composants électroniques .....	51

III.6.1. ESP32 .....	51
III.6.1.1.Définition .....	51
III.6.1.2.Caractéristique de la carte ESP32 .....	51
III.6.1.3.Les périphériques de la carte ESP 32 .....	51
III.6.1.4.Les pins de la carte ESP 32 .....	52
III.6.2. DHT11–Capture de Température et d’Humidité .....	52
III.6.2.1.Définition .....	52
III.6.2.2.Table de câblage du capteur de DHT11 avec la carte ESP32 : .....	53
III.6.2.3.Branchement du Capteur température et d'humidité DHT11 .....	53
III.6.3. Capture de pluie .....	53
III.6.3.1.Définition .....	53
III.6.3.2.Caractéristiques .....	53
III.6.3.3.Table de câblage du capteur de pluie avec la carte ESP32 .....	54
III.6.3.4.Branchement du Capteur de pluie avec ESP32.....	54
III.7. Phases de travail .....	54
.III.7.1 Les composants électriques .....	54
.III.7.2 Les composants électroniques intelligents .....	55
III.7.3. Test de système.....	55
III.7.4. État de l'installation finale .....	55
III.7.5. Plan d'organisation du code.....	56
III.7.5.1.Structure du code Arduino .....	56
III.7.5.2.Structure du code Esp .....	57
III.7.6. Intégration de l’application mobile Blynk : .....	57
III.7.6.1.Étapes pour connecter Blynk au système : .....	57
III.8. Le système solaire avancé intégré avec une interface de surveillance en temps réel.....	60
III.9. Conclusion.....	61
Conclusion générale .....	63
ANNEXES A : Rapport du projet de système photovoltaïque domestique autonome .....	65

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Dans le contexte des changements rapides auxquels le monde est confronté actuellement en terme environnementaux et économiques, le besoin d'énergies propres et durables est devenu une nécessité urgente pour relever ces défis. Parmi ces énergies, l'énergie solaire occupe une place de choix en tant qu'énergie naturelle, renouvelable et abondante, surtout dans les régions ensoleillées comme l'Algérie. Le développement technologique dans le domaine des cellules photovoltaïques (PV) ont conduit à une utilisation accrue de cette énergie comme source d'approvisionnement en électricité dans de nombreuses applications tel que : résidentielles, industrielles et agricoles.

D'autre part, l'utilisation d'une source d'énergie PV nécessite des calculs quantitatifs, dont la phase de dimensionnement d'un système PV est l'étape primordiale du développement d'un système garantissant une alimentation électrique continue, sans oublier quelques caractéristiques techniques des différents composants à savoir : les panneaux PV, les batteries, l'onduleur, le régulateur de charge...etc. Nous avons donc utilisé deux méthodes pour trouver le meilleur dimensionnement : l'une basée sur des calculs mathématiques et l'autre utilisant le logiciel PVsyst, l'un des outils les plus récents dans le domaine de dimensionnement et de l'analyse des performances des systèmes PV, pour déterminer les meilleures configurations possibles qui assurent une satisfaction efficace des besoins de consommation d'énergie, ainsi que fournissent des rapports détaillés sur les données de rayonnement solaire, de température, de production annuelle, performance, efficacité du système PV et ses caractéristiques des composants...etc.

Cependant, la conception du système à elle seule ne suffit pas à garantir une performance durable et fiable, car elle dépend de données environnementales précises ; par exemple, la température, l'humidité, et même les précipitations jouent un rôle important dans leur impact sur la performance et l'efficacité des panneaux solaires. C'est ainsi qu'est née l'idée de ce projet, qui consiste à créer un système intelligent pour mesurer ces paramètres en temps réel, qui seront utilisés à l'avenir comme entrées réelles dans certains programmes, y compris le programme PVsyst, et à les adopter dans la conception de systèmes photovoltaïques, cette technologie reposant sur l'utilisation de l'Internet des objets (IoT).

Le système développé repose sur l'utilisation d'un ensemble de capteurs pour mesurer les données météorologiques et environnementales, telles que la température et l'humidité (en utilisant DHT11), les précipitations (YL-83), et d'autres. Ces données sont envoyées en temps réel à l'unité ESP32, qui les traite et les transmet via le réseau Wi-Fi à une application sur smartphone développée avec la plateforme Blynk, permettant à l'utilisateur de surveiller les conditions du système solaire de manière instantanée et efficace.

Ce travail vise à combiner les aspects théoriques et pratiques, en intégrant les concepts des énergies renouvelables avec les technologies de programmation, d'électronique et de communication sans fil. Où les concepts de base de l'énergie solaire et ses composants ont d'abord été abordés, puis la phase de conception utilisant le logiciel PVsyst, et enfin l'aspect pratique consistant en la réalisation d'un système électronique intégré avec une application pour surveiller les performances du système solaire en fonction des conditions climatiques environnantes.

Ce projet représente une tentative pratique de simplifier la surveillance des systèmes solaires et d'améliorer l'interaction des utilisateurs avec ceux-ci, en tirant parti de technologies modernes à faible coût, avec la possibilité de l'étendre à l'avenir pour inclure des paramètres supplémentaires et des fonctions plus avancées.



# Chapitre I

## Généralité sur le système photovoltaïque

## **Chapitre I. Généralité sur le système photovoltaïque**

### **I.1. Introduction :**

En raison de nos besoins croissant des sources d'énergies propres et durables, les énergies renouvelables sont devenues un sujet d'intérêt mondial, en tant qu'alternative idéale aux sources d'énergie traditionnelles qui polluent l'environnement et menacent la durabilité du développement. Ces énergies comprennent : l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, la biomasse et la géothermie. Elles sont toutes considérées comme des sources naturelles renouvelables «durables» «non polluantes» qui contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Parmi ces sources, l'énergie solaire occupe une place particulière, en raison de sa large disponibilité et de la possibilité de l'exploiter de plusieurs manières. Le développement technologique a conduit à l'élaboration de diverses techniques pour bénéficier de l'énergie dérivée de l'énergie solaire, dont la plus importante est l'énergie solaire photovoltaïque, qui permet de convertir directement les rayons solaires en électricité grâce à des cellules solaires.

Au début de ce chapitre, nous aborderons une brève explication des différentes sources d'énergie renouvelable, en prenant notamment la source d'énergie photovoltaïque sous plusieurs aspects : les types de rayons solaires incidents, la description, les composants et le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque, et les différents types de systèmes utilisés dans ce domaine, etc. En plus de cela, nous présenterons un modèle mathématique de la cellule photovoltaïque, qui nous permet de connaître les différents paramètres qui affectent la performance de la cellule, notamment le rayonnement solaire et la température, et leurs effets sur le courant, la tension, ainsi que sur la puissance maximale. Enfin, nous présenterons les avantages et les inconvénients associés à cette source, nous permettant enfin d'avoir une compréhension complète et précise de cette source d'énergie prometteuse.

### **I.2. L'énergie renouvelable :**

Les énergies renouvelables sont une source d'énergie qui peut se renouveler naturellement et suffisamment rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle humaine. Ces énergies proviennent de phénomènes naturels permanents ou périodiques résultant des corps célestes, principalement le soleil (à travers le rayonnement solaire), ainsi que la lune (à travers le phénomène des marées), et la terre (via la géothermie). À l'heure actuelle, le terme "énergies renouvelables" est parfois utilisé à tort comme synonyme d'"énergies propres", bien que les deux concepts ne soient pas toujours identiques[1].

### **I.2.1. Types d'énergie renouvelables :**

Différentes techniques ont été élaborées pour pouvoir extraire de l'énergie des phénomènes et d'éléments naturels et parmi les énergies les plus utilisées on a :

#### **I.2.1.1. L'énergie éolienne :**

L'énergie éolienne repose sur l'exploitation de la force du vent. Son principe de fonctionnement consiste à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique dans un premier temps, puis cette dernière est transformée en énergie électrique par un générateur électrique. Parmi ses principaux inconvénients, elle peut causer des nuisances sonores dues à la rotation des turbines[2].

#### **I.2.1.2. L'énergie hydraulique :**

L'énergie hydroélectrique est l'une des plus anciennes technologies utilisées pour produire de l'énergie, et elle repose sur le stockage de grandes quantités d'eau, puis sur l'exploitation de son énergie pour la convertir en électricité. Elle est également appelée énergies hydrauliques. Ce type d'énergie est produit par des centrales hydroélectriques, qui sont généralement alimentées en eau par des barrages[3].

#### **I.2.1.3. L'énergie géothermique :**

Les centrales géothermiques exploitent la chaleur émise par les profondeurs de la Terre, en particulier par son noyau. Cette énergie se distingue par le fait qu'elle n'est pas liée aux conditions climatiques ou aux variations saisonnières, ce qui en fait une source d'énergie stable tout au long de l'année[4].

L'énergie géothermique est utilisée sous deux formes principales :

- Chaleur basse : utilisée principalement pour le chauffage des maisons et des bâtiments.
- Chaleur élevée : utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales spéciales.

#### **I.2.1.4. L'énergie biomasse :**

La biomasse (énergie biologique) comprend le bois, les résidus forestiers, les déchets organiques et verts, ainsi que les biocarburants ou ce que l'on appelle le "carburant vert". Ce carburant se classe en deux types principaux[5] :

- L'éthanol dérivé du blé, du maïs, de la betterave et de la canne à sucre.
- Le biodiesel dérivé du colza, du tournesol et du soja.

Ces biocarburants sont souvent mélangés avec des carburants traditionnels pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Quant au bois, il a été utilisé depuis longtemps comme combustible pour le chauffage et la cuisson.

### I.2.1.5. L'énergie solaire :

L'énergie solaire représente la part du rayonnement émis par le soleil qui atteint la surface de la Terre après avoir été filtrée par l'atmosphère. Cette énergie, captée par l'homme, est exploitée principalement sous forme thermique ou électrique. Elle constitue l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes. Dans une habitation équipée d'un système solaire, l'apport en énergie permet de réaliser des économies significatives. Ce type d'installation est particulièrement adapté aux zones isolées, non reliées au réseau électrique. L'énergie produite doit alors être consommée immédiatement et/ou stockée dans des batteries pour couvrir l'ensemble des besoins. L'énergie solaire peut ainsi assurer le chauffage total ou partiel d'un bâtiment à un coût quasiment nul [6] .

**A. Chauffe-eau solaire :** L'une des principales applications de l'énergie solaire est le chauffage de l'eau sanitaire et le chauffage des bâtiments.

**B. Le gisement solaire :** Le gisement solaire regroupe les données caractérisant l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée. Il dépend de plusieurs facteurs : la position géographique du site, la durée des mesures disponibles, la saison, le moment de la journée (mois, jour, heure), le nombre d'heures d'ensoleillement, ainsi que les composantes directe, diffuse et globale du rayonnement, sans oublier l'albédo du sol [6].

**C. Le rayonnement solaire :** Bien que le soleil soit situé à une distance moyenne de 150 millions de kilomètres de la Terre, notre planète reçoit une énergie considérable, estimée à environ 180 000 GW. Ce rayonnement se répartit approximativement de la manière suivante :

- ✓ 5 % dans la bande des ultraviolets ( $< 0,4 \mu\text{m}$ ).
- ✓ 40 % dans le spectre visible (de  $0,4$  à  $0,8 \mu\text{m}$ ).
- ✓ 55 % dans l'infrarouge ( $> 0,8 \mu\text{m}$ ) [6].



Figure I-1. Le soleil source de l'énergie solaire.

### I.2.1.6. Rayonnement solaire :

Le Soleil est une étoile gigantesque avec un diamètre de 1 390 000 km, soit environ 50 fois celui de la Terre. Il est principalement composé d'hydrogène et d'hélium. Son énergie provient de la

fusion nucléaire, transformant 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium chaque seconde, tandis que 4 millions de tonnes sont converties en énergie rayonnée. Cette énergie atteint la Terre en environ 8 minutes. Le rayonnement solaire atteint son maximum à une longueur d'onde de 0,5 micromètre, et la température de surface du Soleil est d'environ 5780 K[7, 8] .

$\frac{3}{4}$  Diamètre de soleil

$D_s = 1.39.10^9$  m  $\frac{3}{4}$  Diamètre de la terre.

$D_t = 1.27.10^7$  m  $\frac{3}{4}$  Distance moyenne soleil - terre

$L_{ts} = 1.5.10^{11}$  m [9].

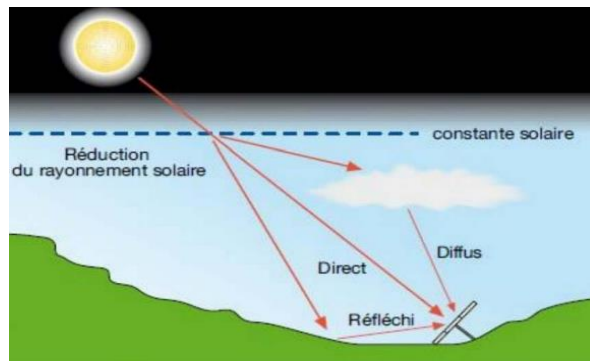


Figure I-2. Composants du rayonnement solaire.

- **Rayonnement direct :**

Le flux solaire est constitué de rayons parallèles émis par le disque solaire, n'ayant subi aucune diffusion ou atténuation par l'atmosphère[8].

- **Rayonnement diffus :**

Il s'agit de la composante du rayonnement solaire qui a été diffusée dans l'atmosphère après avoir subi de multiples réflexions et dispersions[10].

- **Rayonnement réfléchi :**

C'est la partie du rayonnement solaire qui est renvoyée par la surface du sol ou par des objets situés à sa surface. Cet effet d'albédo devient significatif lorsque le sol présente une forte réflectivité, comme dans le cas de l'eau ou de la neige[10].

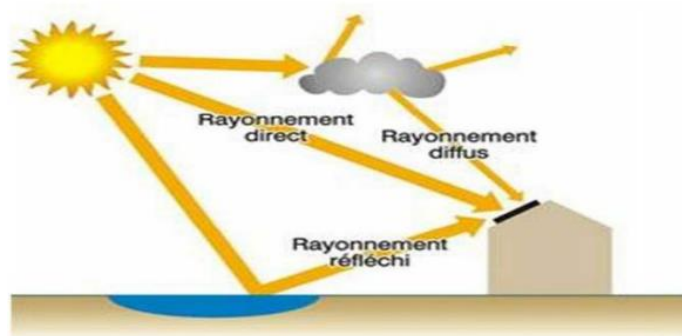


Figure I-3. Types de rayonnements solaires reçus au sol.

### **I.2.2. Description de la cellule photovoltaïque :**

La cellule photovoltaïque représente l'élément fondamental d'un système de conversion de l'énergie solaire en électricité. Elle permet de convertir directement l'énergie lumineuse provenant du soleil en énergie électrique grâce au phénomène de l'effet photovoltaïque. Sous l'effet de la lumière, elle produit une tension électrique proportionnelle à l'intensité du rayonnement incident. En général, une cellule photovoltaïque génère une tension continue comprise entre 0 et 0,7 volts [12], en fonction des propriétés du matériau semi-conducteur utilisé et des conditions ambiantes, notamment la température. Dans les sections suivantes, nous examinerons en détail la structure interne de la cellule ainsi que le principe physique à l'origine de son fonctionnement.

### **I.2.3. Structure d'une cellule photovoltaïque :**

Une cellule photovoltaïque (PV) est constituée de plusieurs couches superposées, chacune remplissant une fonction spécifique afin de garantir un rendement optimal. Les principaux composants structurels d'une cellule PV sont les suivants [13]:

- **Jonction semi-conductrice (Cœur de la cellule) :**

Le cœur de la cellule est la partie la plus essentielle, où se produit l'effet photoélectrique, permettant la conversion de la lumière en électricité. Cette région active est constituée de deux couches de semi-conducteurs : une couche de type *n* (silicium dopé au phosphore) et une couche de type *p* (silicium dopé au bore). Le silicium de type *n*, placé au-dessus, contient un excès d'électrons, ce qui le rend négativement chargé, tandis que le silicium de type *p*, situé en dessous, possède des lacunes électroniques (trous), ce qui lui donne une charge positive.

- **Grille conductrice (Contacts avant et arrière) :**

De part et d'autre de la jonction semi-conductrice, on trouve une grille métallique conductrice chargée de collecter et transporter le courant généré. Cette couche doit présenter une conductivité électrique élevée, une bonne résistance à la corrosion, une stabilité thermique, ainsi qu'une durabilité face aux rayons UV. Des matériaux tels que l'Éthylène Acétate de Vinyle (EVA) ou le Polyvinyl Butyral (PVB) sont souvent utilisés pour encapsuler et protéger ces couches.

- **Feuille arrière (Backsheet) :**

Située derrière le semi-conducteur de type *p*, la feuille arrière assure un support mécanique et une isolation électrique. Elle est généralement fabriquée à partir de matériaux réfléchissants comme l'aluminium ou le molybdène, ce qui permet de réfléchir la lumière non absorbée vers l'intérieur de la cellule afin d'améliorer le rendement énergétique.

- **Couche protectrice supérieure (Verre et revêtement) :**

La couche supérieure, orientée vers la lumière du soleil, est généralement constituée de verre trempé ou d'un autre matériau transparent et résistant. Elle protège les composants internes contre

les agressions extérieures (poussière, humidité, chocs). En raison de la forte réflectivité naturelle du silicium, un revêtement antireflet est appliqué sous le verre pour maximiser l'absorption de la lumière par les couches semi-conductrices.

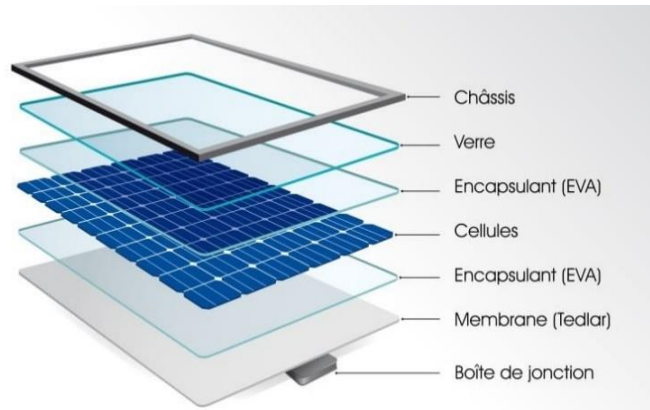


Figure I-4. Composants de la cellule PV.

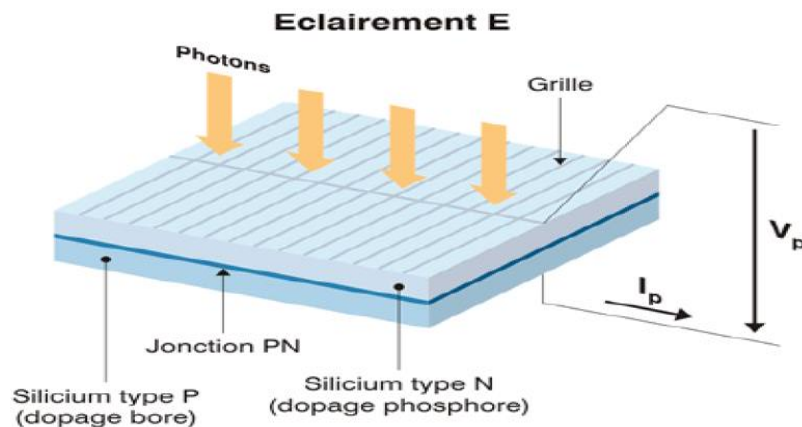


Figure I-5. Synoptique d'une cellule solaire.

#### I.2.4. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque convertit la lumière du soleil en électricité en s'appuyant sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire, les photons (particules de lumière) frappent la surface du matériau semi-conducteur qui compose la cellule, généralement du silicium. Sous l'effet de ces impacts, les électrons présents dans le matériau acquièrent suffisamment d'énergie pour se détacher de leur position initiale. Ce mouvement des électrons libérés génère un courant électrique, tandis que la séparation des charges crée une tension aux bornes de la cellule. C'est ainsi que l'énergie lumineuse est transformée directement en énergie électrique [14].

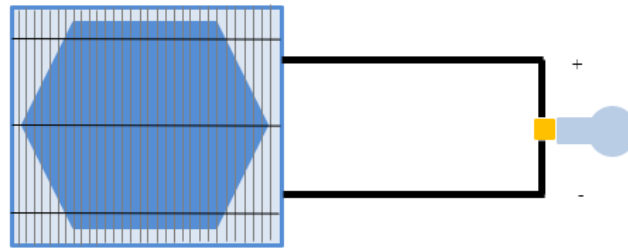


Figure I-6.Schéma block d'une cellule PV.

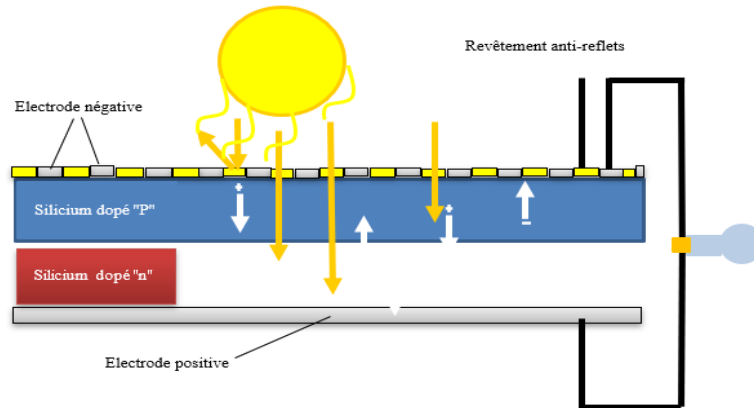


Figure I-7.Jonction PN d'un Cellule Photovoltaïque.

### I.2.5. Les types de cellules photovoltaïques :

Il existe plusieurs types de cellules solaires, chacune ayant ses propres caractéristiques en termes d'efficacité et de coût :

- ✓ Monocristallin
- ✓ Polycristalline
- ✓ Amorphe

#### I.2.5.1. La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin :

Ce type est connu pour son rendement élevé (de 12 % à 16 %, voire jusqu'à 23 % en laboratoire), mais il est plus coûteux en raison de son processus de fabrication complexe.

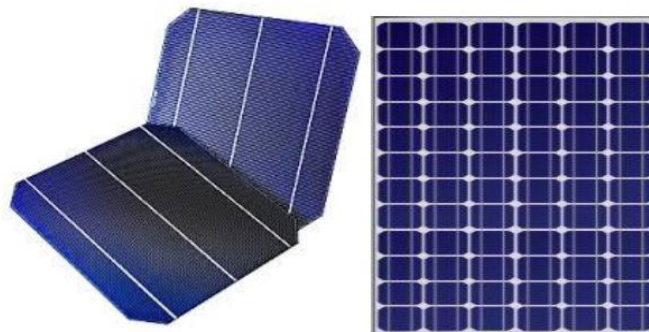


Figure I-8.Cellules monocristallines.

### I.2.5.2. La cellule photovoltaïque en Silicium polycristalline :

Ce type se caractérise par une fabrication plus simple, ce qui réduit le coût de production, mais son rendement est généralement plus faible (environ 11 % à 13 %, pouvant atteindre 18 % en laboratoire).

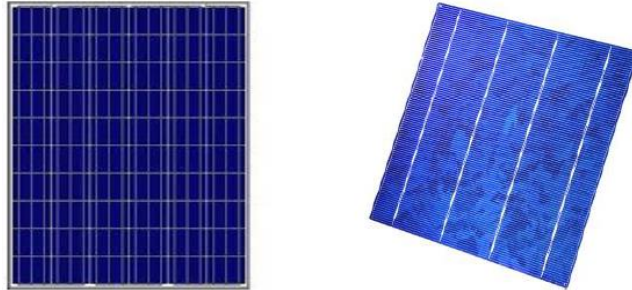


Figure I-9. Cellules Polycristallines.

### I.2.5.3. La cellule photovoltaïque en Silicium Amorphe :

Ce type, bien que présentant le rendement le plus bas (entre 8 % et 10 %, jusqu'à 13 % en laboratoire), nécessite moins de matière grâce à des couches très fines de silicium, ce qui le rend peu coûteux. Il est principalement utilisé dans les petits appareils électroniques comme les montres ou les calculatrices solaires [15][17,16] .

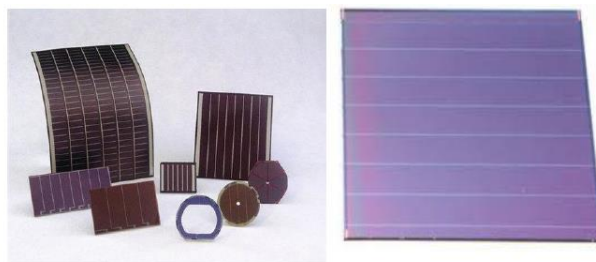


Figure I-10. Cellule Photovoltaïque amorphe.

## I.3. Différents types de système PV :

### I.3.1. Système autonome :

Les systèmes photovoltaïques autonomes visent à fournir de l'électricité aux zones isolées sans avoir besoin de se connecter au réseau électrique. Comme le montre la figure I-11 ce système se compose d'un générateur solaire lié à une unité de stockage d'énergie, garantissant une fourniture continue d'électricité même pendant les périodes de faible production d'énergie solaire. Ou pendant la nuit. Les utilisateurs de ce système rencontrent certaines difficultés, telles que le coût total d'installation de ce système en raison du coût élevé de chaque batterie ainsi que de sa durée de vie, c'est pourquoi ce système nécessite des conditions de fonctionnement précises pour prolonger la durée de vie des batteries et réduire les coûts d'exploitation [18] .

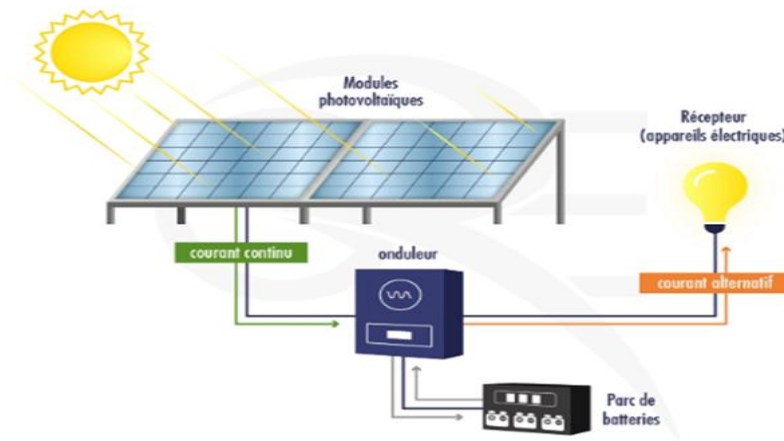


Figure I-11. Système autonome.

### I.3.2. Système PV raccordé au réseau :

Dans ce type, les panneaux solaires sont connectés au réseau électrique via un onduleur On Grid, qui garantit l'adaptation de l'énergie produite par les panneaux solaires, la charge et le réseau en termes de capacité et de fréquence. L'avantage de cette configuration est l'absence de la partie de stockage (batteries), ce qui réduit le coût d'installation. La charge est alimentée en énergie par l'énergie solaire pendant la journée et par le réseau de distribution pendant la nuit. En cas de déficit de production par le système solaire, le réseau de distribution compense la demande de charge, et d'autre part, lorsque le système solaire produit un excédent d'énergie, celui-ci sera injecté dans le réseau de distribution. Un compteur bidirectionnel est placé entre le système solaire et le réseau de distribution pour mesurer l'énergie exportée et importée du réseau de distribution. En général, ces systèmes disposent d'un mode de protection spécifique, et en l'absence du réseau de distribution, le système devient hors service [19].

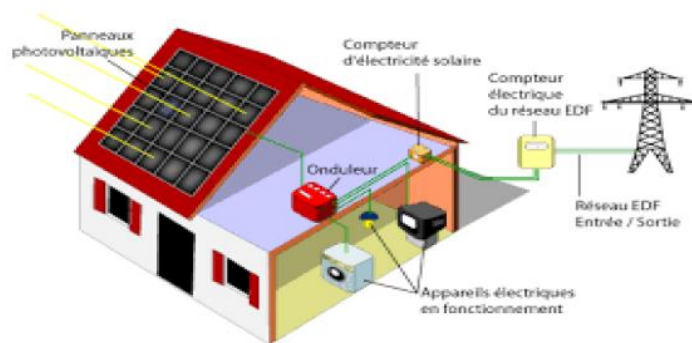


Figure I-12. Système PV raccordé au réseau.

### I.3.3. Système PV hybride :

Un système hybride d'énergie est un système qui contient plusieurs sources d'énergie, qu'elles soient renouvelables ou traditionnelles, telles que les panneaux solaires, les piles à hydrogène, les éoliennes, les groupes électrogènes diesel, ainsi qu'un système de stockage comme

les batteries et l'hydrogène vert pour garantir un approvisionnement continu de notre charge. Il existe de nombreuses configurations possibles pour ce type de systèmes, telles que : PV/Batterie, PV/Éolien, PV/Générateur, etc. Le choix de la configuration appropriée dépend des conditions climatiques du site d'installation. D'autre part, ce type de système est une solution efficace pour économiser Fournir de l'énergie dans les zones éloignées ou les systèmes connectés au réseau pour alimenter le réseau en électricité en cas de surplus de production[20] .

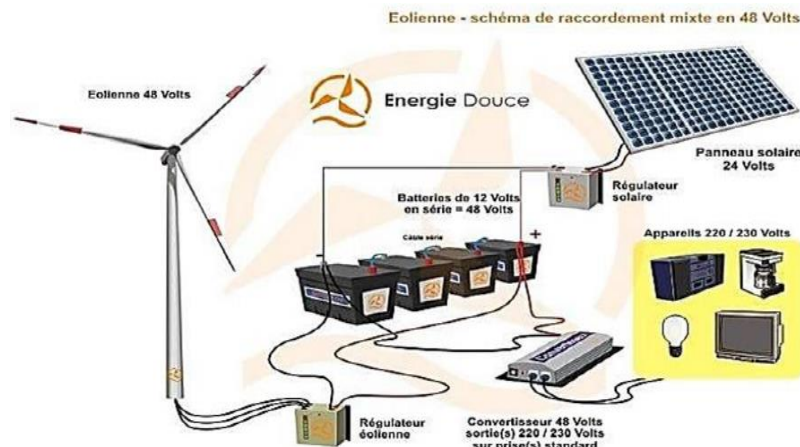


Figure I-13. Systeme PV hybrid.

## I.4. Les différents branchements des panneaux PV :

### I.4.1. Branchement en série :

Afin d'augmenter la tension du module PV, un certain nombre ( $N_s$ ) de cellules sont connectées en série. Dans cette connexion, toutes les cellules passent par même courant, en revanche la tension totale résultante du module PV est égale à la somme des tensions individuelles de chaque cellule[21] . Les caractéristiques électriques dans le cas où les cellules PV sont connectés en série sont résumées par l'équation suivante :

$$V_{co} = N_s \times V_{co} \quad (\text{I-1})$$

$$I_{ccs} = I_{cc} \quad (\text{I-2})$$

Avec :

$V_{cos}$  : la somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.

$I_{ccs}$  : courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.

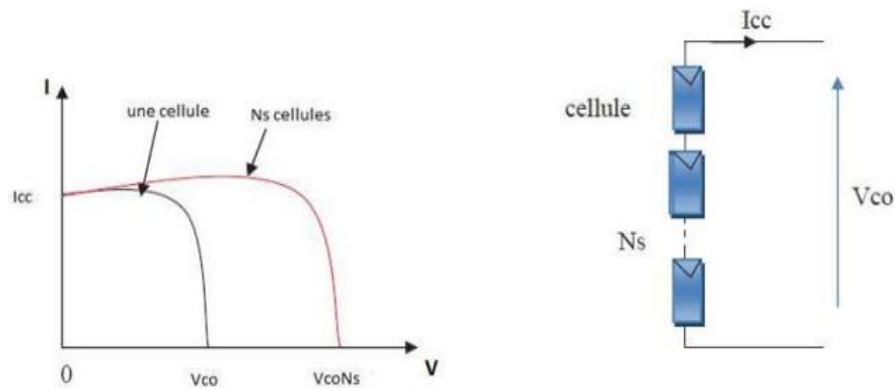


Figure I-14. Associations en série des cellules PV.

#### I.4.2. branchement en parallèle:

Afin d'augmenter le courant du générateur PV, un nombre ( $N_p$ ) de cellules sont connectées en parallèle. Dans cette connexion, toutes les cellules sont soumises à la même tension électrique, et le courant résultant est égal à la somme des courants individuels de chaque cellule[21] . Les caractéristiques électriques dans le cas où les cellules PV sont connectés sont résumées par l'équation suivante :

$$I_{ccp} = N_p \times I_{cc} \quad (I-3)$$

$$V_{co} = V_{cop} \quad (I-4)$$

Avec :

$I_{ccp}$  : la somme des courants de court circuit de ( $N_p$ ) cellule en parallèle.

$V_{cop}$  : la tension du circuit ouvert de ( $N_p$ ) cellules en parallèle.

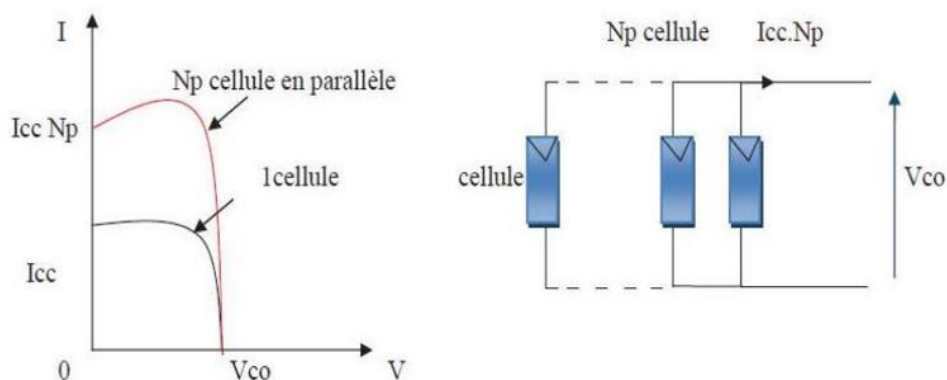


Figure I-15. Associations en parallèle des cellules PV.

#### I.4.3. Association hybride (en série et en parallèle) :

La connexion en série de plusieurs cellules solaires forme une branche photovoltaïque caractérisée par une augmentation de la tension tout en maintenant le courant constant. Et en reliant

plusieurs branches de cellules en parallèle, on obtient un module photovoltaïque où le courant total augmente tandis que la valeur de la tension reste constante [21].

### I.5. Protections d'un générateur photovoltaïque.

L'installation des cellules photovoltaïques est conçue pour produire de l'électricité à long terme, ce qui rend nécessaire l'ajout de protections électriques pour prévenir les dommages potentiels causés par les connexions en série et en parallèle des modules. Pour garantir la sécurité et la fiabilité du système, deux types de protections classiques sont généralement utilisés [22] .

#### I.5.1. La diode anti-retour :

Elles empêchent le retour du courant de la batterie vers le panneau solaire la nuit, surtout lorsqu'on connecte plusieurs panneaux en parallèle.

#### I.5.2. Les diodes by-pass :

Elles protègent les cellules des dommages en cas de faible éclairage sur une partie du panneau, en isolant les cellules affectées pour éviter la formation de points chauds.

La Figure I.16 montre la schématisation classiquement adoptée pour la protection du GPV élémentaire.

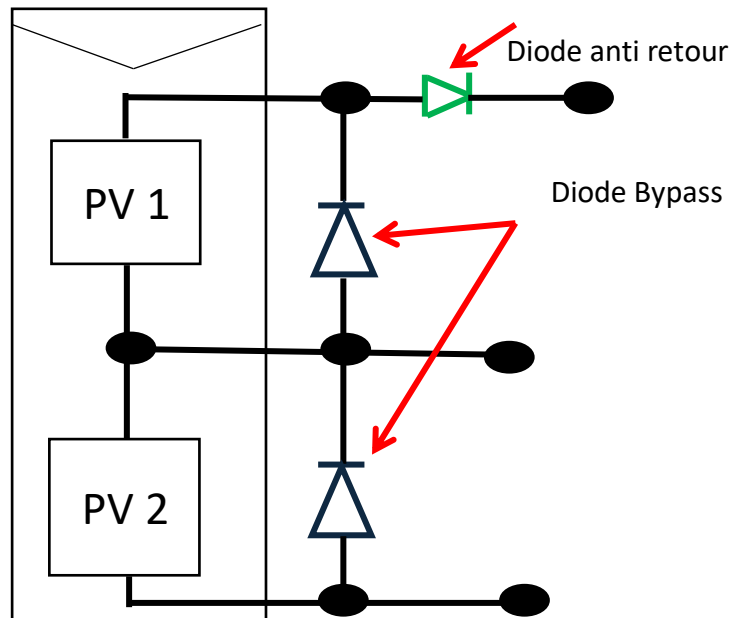


Figure I-16. Schématisation d'un générateur photovoltaïque élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.

## I.6. Cellule photovoltaïque réelle (modèle réel) :

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la Figure I.18. Ce schéma équivalent est constitué d'une diode ( $d$ ) caractérisant la jonction, une source de courant ( $I_{ph}$ ) caractérisant le photocourant, une résistance série ( $R_s$ ) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte ( $R_{sh}$ ) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à ( $R_s$ ).

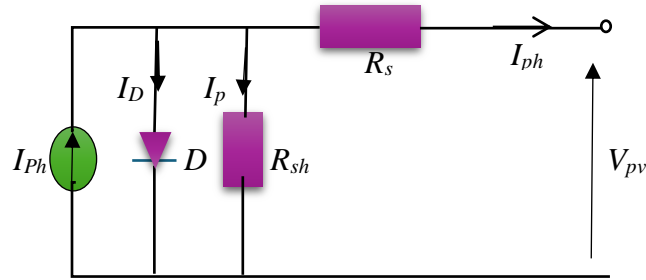


Figure I-17. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Le modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque est donné par :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D - I_p = I_{ph} - I_{sat} \left[ e^{\frac{q(V_{cell} + R_s I_{cell})}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_p} \quad (I-5)$$

$$I_M = I_{ph-M} - I_{D-M} - I_{p-M} \quad (I-6)$$

Le courant photonique  $I_{ph}$  dépendant de l'ensoleillement  $G$  [ $W/m^2$ ] solaire et de la température  $T$  [ $^{\circ}K$ ].  $I_{ph}$  est donné par l'expression :

$$I_{ph} = \frac{G}{1000} [I_{sc} + \alpha(T - T_r)] \quad (I-7)$$

Le courant de saturation  $I_{sat}$  est donné par :

$$I_{sat} = I_{rr} \left( \frac{T}{T_r} \right)^{\frac{3}{n}} e^{\frac{q.E_g}{nK} \left[ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right]} \quad (I-8)$$

Le courant de saturation  $I_{rr}$  de la diode pour la température  $T_r$  est calculé par l'équation suivante :

$$I_{rr} = \frac{I_{sc} - (V_{oc}/R_{sh})}{e^{\frac{qV_{oc}}{nkT_r}} - 1} \quad (I.8)$$

Avec:

- $V_{cell}$  : La tension aux bornes de la cellule ;
- $I_{cell}$  : Le courant fourni par la cellule ;
- $I_{sc}$  : Le courant de court-circuit ;

- $V_{oc}$  : La tension de circuit-ouvert ;
- $q$  : La charge de l'électron [ $1.602 \cdot 10^{-19}$  C] ;
- $n$  : Le facteur d'idéalité de la jonction ;
- $E_g$  : L'énergie du band gap ;
- $\alpha$ : Coefficient de température de  $I_{ph}$ ;
- $K$  : La constante de Boltzmann [ $1.381 \cdot 10^{-23}$  J/K] [19].

## I.7. Paramètres of PV module :

Les paramètres des cellules photovoltaïques ( $I_{cc}$ ,  $V_{co}$ ,  $\eta_c$ ,  $FQ$  et  $FF$ ) extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques.

### I.7.1. Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) :

Le courant est maximal lorsque les deux bornes sont directement connectées entre elles et que la tension est nulle. Le courant dans ce cas est appelé courant de court-circuit. Le courant de court-circuit est dû à la génération et à la collecte des porteurs générés par la lumière.

### I.7.2. Tension à circuit ouvert ( $V_{co}$ ) :

Lorsque la cellule n'est pas connectée à une charge, aucun courant ne circule et la tension à travers la cellule PV atteint son maximum. Cela s'appelle la « tension en circuit ouvert ». Lorsque la charge est connectée à la cellule photovoltaïque, le courant circule dans le circuit et la tension diminue.

### I.7.3. Facteur de forme ( $FF$ ) :

Le  $FF$  est défini comme la puissance maximale de la cellule solaire réelle par rapport à la puissance maximale de la cellule solaire idéale. Avec le temps, la courbe PV se dégrade. Il est essentiel de vérifier périodiquement la qualité de la cellule. La qualité de la cellule est déterminée par le facteur de remplissage. Pour un bon panneau, le facteur de remplissage ( $FF$ ) est compris entre 0,7 et 0,8, tandis que pour un mauvais panneau, il peut être de 0,4 [23] .

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (I-9)$$

### I.7.4. Facteur de qualité ( $FQ$ ) :

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

### I.7.5. Rendement d'une cellule solaire ( $\eta_c$ ) :

L'efficacité est définie comme le rapport entre l'énergie produite par la cellule solaire et l'énergie reçue du soleil[23].

$$P_{solaire} = G \times S \quad \text{I-10}$$

$$\eta_c = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{P_{solaire}} \quad \text{(I-11)}$$

Avec :

$G$ = Irradiation  $W/m^2$

$S$ = Surface  $m^2$

## I.8. Influence des paramètres externes sur les caractéristiques du module PV :

### I.8.1. Effet de l'irradiation :

Les valeurs de l'irradiation reçoit par la surface des modules PV varient au cours de l'année selon plusieurs paramètres à savoir : le saison, l'orientation et l'inclinaison, dont lequel prendre des valeurs variables durant la journée de 0  $W/m^2$  jusqu'a des valeurs supérieures à 1000  $W/m^2$ . A cet effet, pour évaluer la Performance du module PV, nous présentons dans cette partie les caractéristiques courant-tension et puissance-tension du module PV Under différentes valeur de l'irradiation (200 $W/m^2$ ,400  $W/m^2$ ,600  $W/m^2$ ,800  $W/m^2$ ,1000  $W/m^2$ ) en gardant la température constante à 25°C. Ces résultats de simulation sont obtenus à travers l'utilisation Pvsyst.

La figure I.19 montre comment les deux courbes sont affectées par les variations de l'irradiation. À travers la courbe courant-tension, nous pouvons voir comment les courbes changent sur l'axe vertical (Courant) beaucoup plus qu'ils changent sur l'axe horizontal (Tension). Par conséquent, l'augmentation des valeurs d'irradiation n'influence pas significativement sur la tension du module PV, dans laquelle la tension à circuit ouvert augmente légèrement. En revanche, le courant de court-circuit augmente où diminuer extrêmement avec la variation de l'irradiation.

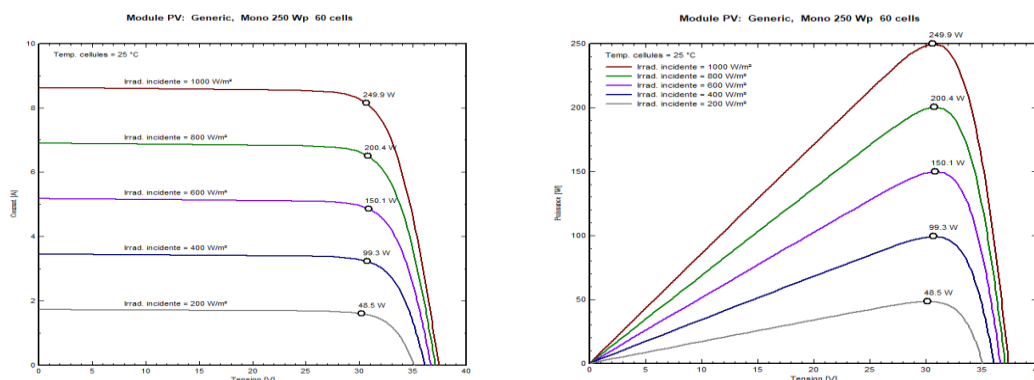


Figure.I-18.Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du module PV sous diverses irradiations.

### I.8.2. Influence de la température :

La température est un paramètre très important dans le comportement du module PV. Les deux figures ci-dessous montrent le comportement du module sous cinq valeurs différentes de température : 10°C, 25°C, 40°C, 55°C et 70°C, tandis que l'irradiation reste constante à 1000W/m<sup>2</sup>. La caractéristique Courant-Tension se déplace fortement vers la gauche et la droite le long de l'axe d'horizontale (Tension), tandis qu'elle se déplace sur l'axe du vertical (Courant), où son mouvement est relativement faible. Ce dernier, avec l'augmentation de la température, le courant de court-circuit augmente légèrement, tandis que la tension à circuit ouvert diminue fortement. Par conséquent, les variations de la température influencent directement sur la tension de sortie, Ce qui entraîne inévitablement un impact sur la puissance de sortie maximale. D'une façon générale, le rendement du module PV diminue avec l'augmentation de la température à cause l'augmentation de la température augmentera inévitablement l'énergie de la bande interdite du matériau semi-conducteur et, par conséquent, une énergie photonique plus élevée est requise pour franchir cette barrière et créer des paires électron-trou [24].

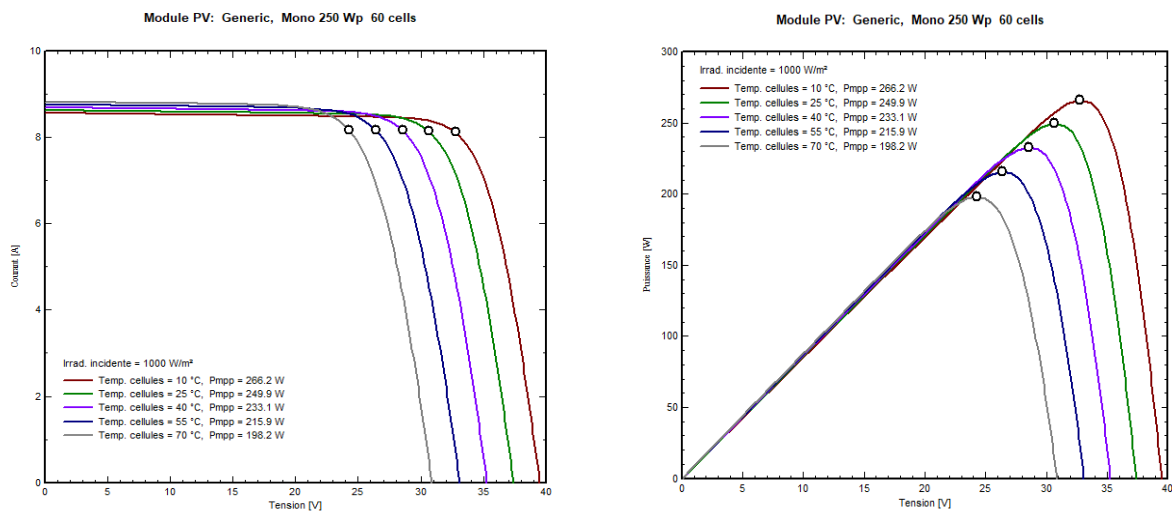


Figure I-19. Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du module PV sous différentes températures.

### I.8.3. Simulation d'un module PV :

L'étude expérimentale qui se concentre sur l'analyse du comportement d'un panneau solaire est constituée de modules Photovoltaïques en silicium monocristallin avec une puissance nominale de 250 watts. Ils sont couramment utilisés dans les applications résidentielles et commerciales. Ses caractéristiques électriques typiques sont résumées dans le tableau I-1 ci-dessous :

Tableau I-1. Caractéristiques électriques typiques du panneau PV.

Paramètres	Valeurs
Puissance maximal $P_{max}$	250 W
Tension maximal $V_{max}$	30 V
Courant maximal $I_{max}$	8.34A
Isc	9.17A
Voc	36V

## I.9. Conclusion :

Au début de ce chapitre, nous avons appris que l'énergie PV est l'une des sources d'énergie renouvelables. Nous avons fourni aussi un aperçu historique de cette énergie renouvelable, en plus nous avons expliqués le principe de fonctionnement de la cellule PV, ainsi que les différents types des cellules PV disponibles au marché, y compris les cellules polycristallines, qui sont considérées comme l'une des technologies les plus utilisées dans les systèmes PV...etc., tout en abordant divers systèmes PV tels que : Systèmes isolés, connectés au réseau et hybrid. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons étudié la modélisation du cellule PV à l'aide d'un modèle équivalent (circuit électrique) à base une seule diode. Cette modélisation est une étape fondamentale dans l'évaluation des caractéristiques d'un module PV à l'aide de représentations graphiques des caractéristiques courant-tension et puissance-tension. Les courbes représentés montrent bien que le module PV présente une caractéristique non linéaire avec un point de puissance maximale, qui sont affectés par des paramètres externes a savoir l'irradiation et la température. La puissance produite par le module PV est directement proportionnelle au rayonnement solaire et inversement avec la température. Par conséquent, la variation de la puissance produite par la source PV sous l'influence des changements des conditions environnementales entraînera inévitablement une non-satisfaction des exigences de la charge. A cet effet, le dimensionnement de la source PV est nécessaire pour répondre aux exigences de la charge, quel que soit le changement des conditions environnementales. Il existe plusieurs méthodes afin de faire le dimensionnement de la source PV, certaines par le calcul ou à l'aide des logiciels comme le PVSYST.

# Chapitre II

## Dimensionnement d'un système photovoltaïque

## **Chapitre II. Dimensionnement d'un système photovoltaïque :**

### **II.1. Introduction :**

L'énergie PV présente un potentiel considérable et peut répondre à la demande énergétique de nombreuses régions ou être raccordée au réseau électrique. Elle assure un approvisionnement énergétique durable à long terme. Par conséquent, le monde, y compris l'Algérie, connaît actuellement un essor considérable de l'utilisation de l'énergie PV, surtout si son coût continue de baisser. Cependant, les fluctuations de sa production, dues à sa dépendance directe à des conditions climatiques, constituent un grand inconvénient. Plusieurs solutions ont donc été proposées, notamment le stockage d'énergie, considéré comme une solution efficace pour pallier l'intermittence de la production d'électricité. Lorsque la production dépasse la demande, l'énergie excédentaire est stockée, tandis que l'énergie stockée est déchargée lorsque la production diminue. Par conséquent, le coût d'investissement de système PV devient plus élevé que celui des sources conventionnelles. C'est pourquoi le dimensionnement optimal de ces systèmes pour répondre à la demande de la charge est une étape cruciale, car elle établit un lien entre les aspects théoriques et pratiques. Ce chapitre vise donc à réaliser une étude détaillée afin de déterminer les exigences de base et les spécifications techniques nécessaires à la conception d'un système PV capable de répondre efficacement aux besoins énergétiques spécifiés, à l'aide de calculs mathématiques et d'un logiciel dit PVSYST.

Ce chapitre comprend deux parties. Au début de la première, il aborde les étapes les plus importantes du dimensionnement du système PV en suivant plusieurs étapes, notamment : l'analyse des données climatiques du site du projet, l'évaluation de la consommation de charge, le calcul de la puissance crête de la source PV, le dimensionnement du banc de batterie, puis la détermination de la puissance de régulateur et l'onduleur...etc. Dans la deuxième partie en utilise le logiciel PVSYST, ce dernier suivant des étapes bien déterminés et successive afin de faire un dimensionnement optimal. D'autre part, ce logiciel offre des rapports détaillés sur notre système a savoir : paramètre de simulation de chaque composant (PV, batterie, régulateur et onduleur), Consommation de la charge, Production annuelle de champ PV et diagramme de perte sur l'année entière.

### **II.2. Les étapes de dimensionnement d'un système PV :**

En général, les critères à prendre en compte pour concevoir et déterminer la taille d'un système photovoltaïque sont nombreux et concernent :

- L'endroit où le système sera installé.
- Le système photovoltaïque (modules, régulateur, onduleur et batteries).

- La charge (consommation d'électricité).

Nous suivons les étapes de conception d'un système solaire.

## II.2.1. Etape 01 :

### II.2.1.1. Présentation de site :

Dans cette partie nous devons découvrir : Caractéristiques géographiques et climatiques,

- ✓ **La latitude** : est une mesure angulaire qui indique la position d'un point par rapport à l'équateur, au nord ou au sud. Tous les points situés sur le même parallèle forment un cercle parallèle à l'équateur, appelé "parallèles"[26] .
- ✓ **La longitude** : définit l'angle entre la longitude et la ligne de référence (le méridien de Greenwich, qui correspond à 0 degré). Les longitudes à l'est de Greenwich sont considérées comme positives, tout comme[26] .

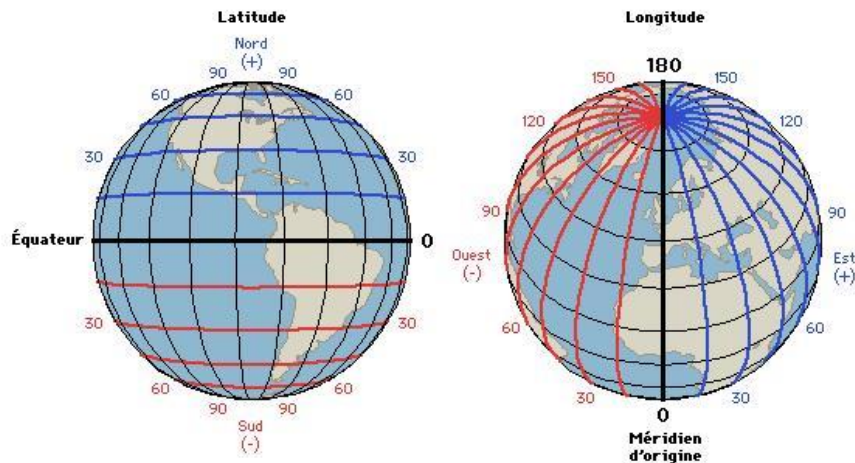


Figure II-1. Synthèse de l'altitude et de la longitude.

- ✓ **L'Altitude** : L'altitude représente la hauteur d'un point par rapport au niveau de la mer, qui est généralement pris comme référence. Elle est déterminée par des méthodes comme la géodésie ou la triangulation. Cette donnée est essentielle dans plusieurs domaines comme la météorologie, la physique ou encore la biologie[27] .
- ✓ **Découvrez dans quelle direction (L'orientation ou Azimut)**
- ✓ **L'angle d'inclinaison.**
- ✓ **La valeur du rayonnement solaire.**
- ✓ **La température de site.**

## II.2.2. Etape 02 :

### II.2.2.1. Estimation des récepteurs :

L'estimation des récepteurs est déterminée en fonction de la capacité de chaque appareil et du nombre d'heures de travail.

$$P_t = N \times P_i \quad (\text{II-1})$$

$P_t$  = Puissance totale (w).

$N$  = Nombre d'appareille.

$P_i$  = Puissance d'une sou l'appareille.

### II.2.2.2. Le besoin journalier énergétique :

Le besoin énergétique journalier constitue une étape essentielle à déterminer avant toute conception, car il influence directement le dimensionnement des panneaux solaires et des batteries. Calculer les besoins électriques consiste à calculer l'énergie électrique journalière consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en *Wh/jour* (ou *kWh/jour*).

$$E = h \times P \quad (\text{II-2})$$

$E$  : l'énergie électrique journalière consommée par les usagers (*Wh / j*).

$H$  : Le nombre d'heures (*h*).

$P$  : la puissance (*W*).

$$P_t = \sum P_i \quad P_t = \sum P_i \quad (\text{II-3})$$

## II.2.3. Etape 03 :

### II.2.3.1. Calcul de la puissance crête $P_c$ :

$$P_c = \frac{E_c}{I_r \times k} \quad (\text{II-4})$$

$P_c$  : la puissance crête de générateur photovoltaïque (*WC*).

$E_c$  : l'énergie journalière irradiation consommée (*Wh*).

$K$  : constant des pertes d'énergie (0.65- 0.75).

$I_r$  : irradiation (*kW/m2/j*).

**II.2.3.2. Calcul le nombre des modules (total et séries, parallèles) :**

➤ **Nombre Module Total:**

$$N_{pt} = \frac{P_c}{P_p} \quad (\text{II-5})$$

$N_{pt}$  : le nombre total des modules.

$P_c$  : la puissance crête.

$P_p$  : la puissance d'un panneau choisi.

➤ **Nombre Module Séries :**

$$N_{ps} = \frac{V_{sys}}{V_{opt}} \quad (\text{II-6})$$

➤ **Nombre Module Parallèles :**

$$N_{pp} = \frac{N_{opt}}{N_{ps}} \quad (\text{II-7})$$

$N_{pp}$  : le nombre des panneaux parallèles.

$N_{ps}$  : le nombre des module série.

$V_{opt}$  : la tension d'un panneau choisi optimale.

$V_{sys}$  : la tension de système.

**II.2.3.3. Le choix de tension de système :**

La tension de système dépend de la puissance crête :

Tableau II-1. Le choix de tension de système.

V système	12 v	24 v	48 v
$P_c$ (wc)	$P_c < 500 \text{ wc}$	$500 < P_c < 2Kwc$	$P_c \geq 2 Kwc$

**II.2.4. Etape 04 :**

**II.2.4.1. Dimensionnement de capacité des batteries :**

$$C_t = \frac{E_c \times N_{ja}}{V_{syst} \times DOD} \quad (\text{II-8})$$

$C_t$  : capacité totale des batteries en (Ah)

$E_c$  : l'énergie journalière consommée (Wh)

$N_{ja}$  : nombre de jour d'autonomie

$V_{sys}$  : la tension de système (v)

$DOD$  : décharge maximale de la batterie (%)

#### II.2.4.2. Calcul le nombre de batterie :

$$N_{bt} = \frac{C_t}{C_b} \quad (\text{II-9})$$

$N_{bt}$  : nombre de batterie Totale.

$C_b$  : capacité de batterie choisi.

$$N_{ps} = \frac{V_{sys}}{C_b} \quad \text{II)}$$

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} \quad (\text{II-10})$$

$N_{bs}$  : nombre des batteries série.

$N_{bp}$  : nombre des batteries parallèle.

$V_b$  : tension de la batterie choisie.

$V_{sys}$  : tension de système.

#### II.2.5. Etape 05 :

##### II.2.5.1. Le choix de Régulateur

La puissance maximale de champ photovoltaïque dit être inférieur à la puissance nominale de régulateur.

$$R_{\text{régulateur}} \geq 1.25 \times P_c \quad (\text{II-11})$$

La tension a vide de champ photovoltaïque dit être inférieur à la tension maximale admissible de régulateur.

$$V_{\text{entré rég}} \geq 1.25 \times V_{oc} \quad (\text{II-12})$$

Le courant de sortie de champ photovoltaïque doit être inférieur à le courant d'entre de régulateur.

$$I_{\text{entrég}} \geq 1.25 \times I_{cc} \quad \text{II-13)}$$

1.25 : C'est le coefficient de sécurité de 20% Le régulateur doit être compatible avec la tension de parc batterie.

## II.2.6. Etape 06 :

### II.2.6.1. Le choix d'onduleur

$$P_{ond} = 1.25 \times P_c \quad (\text{II-14})$$

Avec :

$P_{ond}$  = la puissance fournie à l'onduleur

Il faut tenir compte de la puissance max (la puissance de démarrage de moteur) La tension d'entrée d'onduleur doit être égale à la tension de système.

## II.2.7. Etape 07 :

### II.2.7.1. Dimensionnement des câbles :

On vous déterminer la section des cabales entrainant le moins de chute de tension possible donc on utilise la loi de chute de tension suivant :

$$\Delta U = R \times I \quad (\text{II-15})$$

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{II-16})$$

$R$  : résistance de câble ( $\Omega$ ).

$I$  : le courant Passant sur le câble (A).

$\Delta U$  : la chute de tension (V).

Donc :

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} \quad (\text{II-17})$$

$\rho$  : La résistivité de câble : 0.000016 - 0.000017 pour le cuivre.

$L$  : La longueur des câbles.

$S$  : Section de câble.

## II.2.8. Etape 08 :

### II.2.8.1. Le choix des Appareils de protection :

Tableau II-2. Le choix des appareils de protection.

L'appareil	Critère de dimensionnement
Disjoncteur	Le choix de ces appareils dépend des grandeurs qu'ils doivent protéger. Les courants et la tension et les paramètres considérés et la valeur doivent être majorés par un coefficient de sécurité (1.25) pour une bonne protection
Parafoudre	
Fusibles	
Interrupteur sectionneur	

### II.3. Application de conception de système solaire :

Dans ce travail, nous appliquons un modèle numérique d'un système solaire pour alimenter une maison en énergie. Pendant la journée, les panneaux solaires sont utilisés pour faire fonctionner les appareils et charger les batteries, et la nuit, les batteries sont utilisées pour couvrir la consommation. Le système vise à atteindre l'autonomie et l'efficacité dans la consommation d'énergie, sans dépendre du réseau électrique.

#### II.3.1. Présentation de site:

Ce projet concerne l'installation d'un système d'énergie solaire dans une maison appartenant au pôle universitaire Mohamed Boudiaf dans la wilaya de M'sila. La maison est composée de six lampes. Le projet vise à fournir de l'électricité à cette maison en utilisant l'énergie solaire comme source principale.



Figure II-2. Vue de face de la maison.

#### II.3.2. Identification du site:

Cette maison est située sur le campus de l'Université Mohamed Boudiaf à M'sila, précisément près de la salle Ibn al-Haytham. L'emplacement se distingue par son exposition directe et continue au soleil pendant la majeure partie de la journée, ce qui le rend très adapté à l'installation d'un système d'énergie solaire. Cet emplacement a été choisi en raison de ses

conditions climatiques idéales et de son éloignement des ombres, permettant ainsi d'atteindre une haute productivité énergétique.

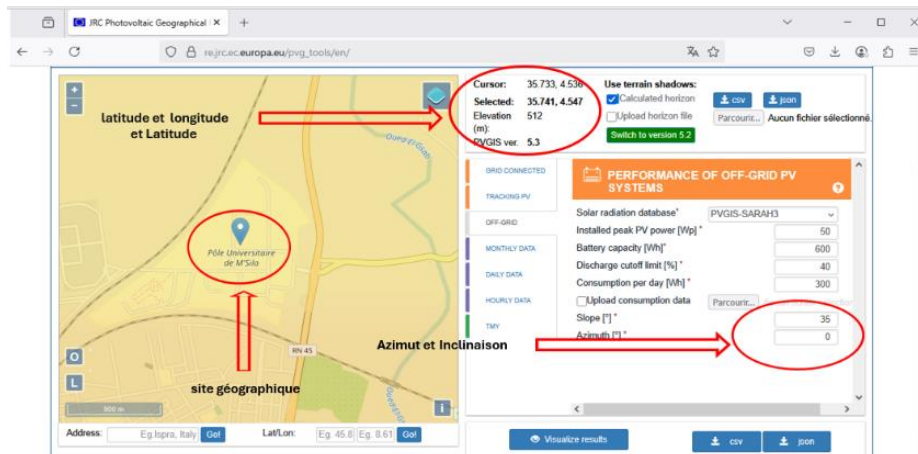


Figure II-3. Présentation site de Pole Univ PV Msila par site de web PVGIS.

Le tableau suivant présente les données géographiques du site :

Tableau II-3. Présentation de site.

Présentation de site	Les données
Ville	Pole Univ PV Msila
La latitude	35.73 nord
La longitude	4.53est
L'altitude	512 mètres
L'azimut	SUD
L'inclinaison	35°
L'autonome	1 jours

### II.3.3. La température Moyenne:

La variation moyenne de la température (Wilaya de M'Sila) chaque mois est donnée sous forme de tableau 1 et de graphique (mesure annuelle 2020).

Tableau II-4. Températures moyenne année 2020.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octo	Nov	Déc
Valeur moy T °C	7.7	8.8	13.1	17.1	21.8	27.5	31.2	30.2	24.8	19.6	12.4	8.4

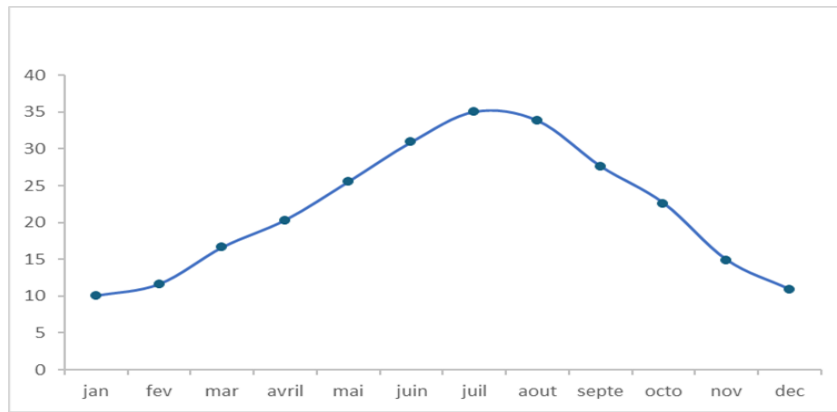


Figure II-4.Schéma de température moyenne année 2020.

### II.3.4. L'irradiation Moyenne:

La variation moyenne du rayonnement (ville de M'sila) chaque mois est présentée sous Tableau II.5 et Figure II.4 (mesure annuelle 2020).

Figure II-5. Schéma d'irradiation moyenne année 2020.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Octo	Nov	Déc
Valeur Ir	94.4	91.9	135.9	167.6	193.2	209.7	220.2	200.1	152.0	122.0	85.6	74.3

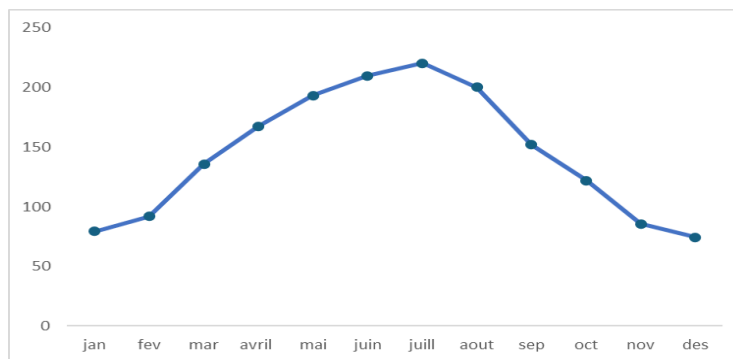


Figure II-6.Irradiation moyenne année 2020.

### II.3.5. Estimation des récepteurs :

Appareil électrique	La puissance	Nombre d'unité	Puissance total (W)	Période d'utilisation en Période 24	Energie total (Wh)
Lampe	60	06	360	8h	2880

### II.3.6. Calcul de la puissance crête $P_c$ :

$$P_c = \frac{E_c}{I_r \times K} = \frac{2880 \times 1000}{2200 \times 0.75} = 1.7 \text{ KW}$$

Avec :  $E_c=2880 \text{ Wh}$  ;  $k=0.75$  ;  $I_r = 2200 \text{ kw}/\text{m}^2/\text{j}$ .

**II.3.7. Le choix de tension de système :**

$V_{sys} = 24V$ ; ( $500 < P_c < 2Kwc$ ).

**II.3.8. Calcul le nombre des modules (total et série, parallèle) :**

Tableau II-5.Caractéristiques de module utiliser.

Elément	Les valeurs
Type	Monocristallin
Puissance Pmax	250
Tension Vopt	30
Courant Iopt	8.34
Tension Voc	36
Courant Icc	9.17
L x G x H	195 x 992 x 40mm

$$N_{pt} = \frac{P_c}{P_p} = \frac{1745.45}{250} = 6.98 ; \text{ donc } N_{pt} = 8 \text{ (Nombre de panneau total)}$$

$$N_{ps} = \frac{V_{syst}}{V_{opt}} = \frac{24}{30} = 0.8 ; \text{ donc } N_{ps} = 1 \text{ (Nombre de panneau série)}$$

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} = \frac{8}{1} = 8 ; \text{ donc } N_{pp} = 8 \text{ (Nombre de panneau parallèle)}$$

**II.3.9. Calcul le nombre de capacité des batteries :**

$$C = \frac{E_c \times N_{ja}}{U_{syst} \times DOD} = \frac{2880 \times 1}{24 \times 0.6} = 200Ah$$

Avec :  $E_c = 2880 \text{ Wh}$  ;  $N_{ja} = 1 \text{ jour}$  ;  $U = 24v$  ;  $DOD = 0.6$

**II.3.9.1. Calcul le nombre de batterie (totale et série, parallèle) :**

Tableau II-6.Caractéristiques de batterie utiliser.

Elément	Les valeurs
Capacité	200
Tension	12V
DOD	0.6

$$N_{bs} = \frac{V_{syst}}{V_b} = \frac{24}{12} = 2 \text{ Donc } N_{bs} = 2 \text{ (Nombre de batterie série)}$$

$$N_{bp} = \frac{C_t}{C_b} = \frac{200}{200} = 1 \text{ Donc } N_{bp} = 1 \text{ (Nombre de batterie parallèle)}$$

$$N_{bt} = N_{bs} \times N_{bp} = 2 \times 1 = 2 \text{ Donc } N_{bt} = 2 \text{ (Nombre de batterie totale)}$$

### II.3.10. Le choix de Régulateur :

Régulateur  $\geq 1.25 \times Pc$  ; donc  $Prégu \geq 1.25 \times 1.7kw$

Ventré rég  $\geq 1.25 \times Voc$  ; donc Ventré rég  $\geq 1.25 \times 36 v$

Ientré rég  $\geq 1.25 \times Isc$  ; donc I entré rég  $\geq 1.25 \times 9.17 A$  Avec : tension de système de Régulateur égala 24 v.

### II.3.11. Le choix d'onduleur :

Pond  $\geq 1.25 Pc$  ; donc Pond  $\geq 1.25 \times 1.7kw$

Avec : tension de système d'onduleur égala 24v.

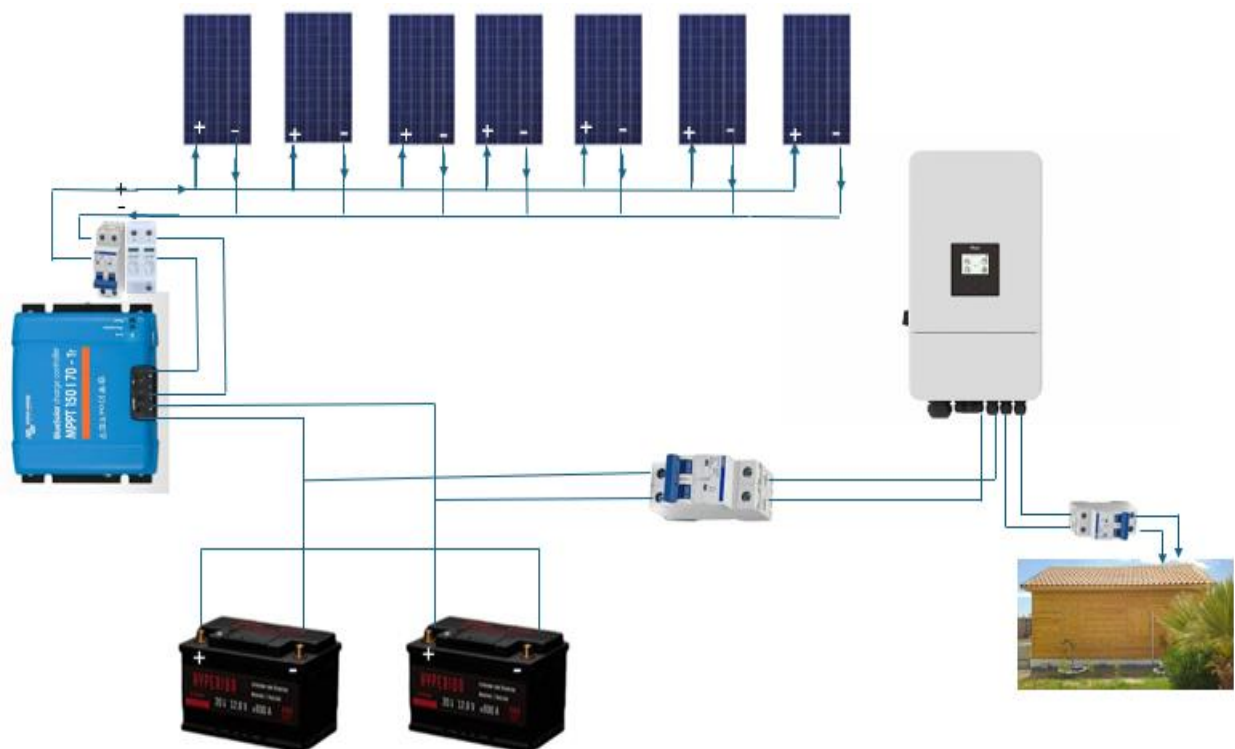


Figure II-7.Schéma général de la maison.

## II.4. Dimensionnement d'un système PV par logiciel PVsyst :

### II.4.1. Définition logiciel PVsyst :

PVsyst est un logiciel de simulation qui a d'abord été conçu à Genève et aide à calculer le fonctionnement et les opérations du système PV. Ce logiciel aide à concevoir la configuration du système et permet également de calculer la quantité d'énergie générée. La sortie est basée sur la simulation du système de dimensionnement qui dépend principalement de la localisation géographique emplacement du site du système PV. Les résultats peuvent inclure plusieurs variables de simulation qui peuvent être affichées en valeurs mensuelles, quotidiennes ou horaires[28, 29].

## II.4.2. Les options de logiciel PVsyst :



Figure II-8. Les options de logiciel Pvsyst.

### Pré-dimensionnement :

Le logiciel PVsyst permet de réaliser un calcul préliminaire rapide d'un système solaire sans avoir besoin de spécifier des composants réels. Cette étape permet une estimation préliminaire des dimensions du système et de ses composants, de sa consommation énergétique, du coût approximatif du projet, ainsi que du nombre et du type d'appareils requis. Cette évaluation est préliminaire et vise à donner une idée générale et complète du système envisagé.

### Conception du projet :

La conception et la dimension finale du projet sont réalisées à l'aide du logiciel PVsyst, qui offre les fonctionnalités suivantes :

- Étude et analyse approfondie du système solaire.
- Calcul précis de la production d'énergie à travers une simulation détaillée à l'échelle horaire.
- Possibilité de simuler et de comparer plusieurs scénarios différents pour le projet.
- Prendre en compte les obstacles éloignés et les ombres proches en utilisant un outil 3D intégré.
- Analyse détaillée des pertes énergétiques dans le système.
- Évaluation économique basée sur des composants réels et leurs coûts réels.

### Outils :

Dans cette section, il est possible d'entrer les données géographiques du site étudié, soit en les sélectionnant à partir de bases de données mondiales telles que (NASA ou Meteonorm), soit en les saisissant manuellement. Le programme permet également d'insérer une base de données complète pour les différents composants du système photovoltaïque, tels que les panneaux solaires, les batteries, les onduleurs, et autres équipements nécessaires.

### Couplé au réseau :

C'est un système dans lequel les panneaux solaires sont directement connectés au réseau électrique, où seul un onduleur est utilisé pour convertir le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif compatible avec le réseau.

### Isolé avec batterie :

C'est un système qui repose entièrement sur l'énergie solaire et les batteries, sans aucune connexion au réseau électrique, où l'énergie produite pendant la journée est stockée dans les batteries pour une utilisation ultérieure, notamment pendant la nuit ou en cas d'absence de rayonnement solaire.

### Pompage solaire :

C'est un système qui repose sur l'énergie solaire, utilisé pour faire fonctionner des pompes à eau. Ce système peut fonctionner soit en courant continu, soit en courant alternatif, et est souvent utilisé dans les zones rurales ou agricoles pour fournir de l'eau sans avoir besoin d'un réseau électrique.

### Réseau CC :

C'est un réseau électrique qui repose sur le transport et la distribution de l'énergie en utilisant le courant continu (*DC*) au lieu du courant alternatif (*AC*). Ces réseaux restent encore peu utilisés à grande échelle, car ils ne se trouvent que dans quelques pays comme le Japon, et sont souvent utilisés dans des applications spécifiques nécessitant une haute efficacité et une réduction des pertes d'énergie.

## II.4.3. Application logiciel Pvsyst :

### II.4.3.1. Importer de site géographique :

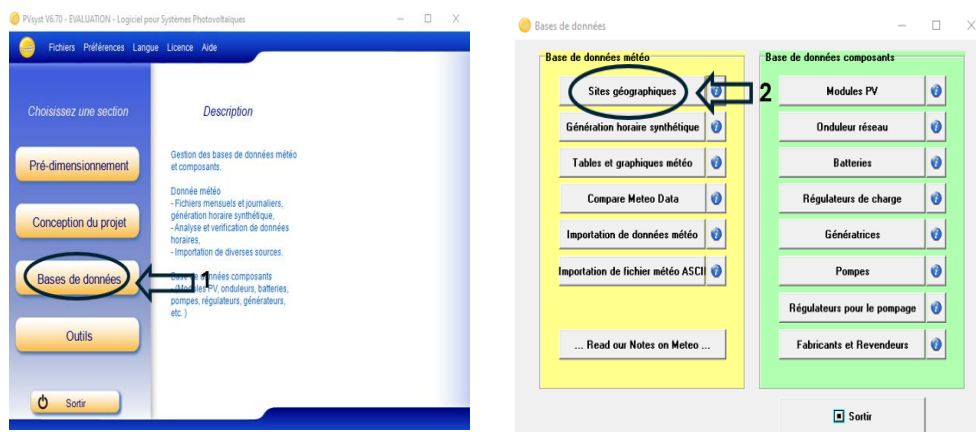


Figure II-9. Importer de site géographique.

Importer les données géographiques du pôle université à M'sila, lancer le programme PVsyst, sélectionner "bases de données", puis cliquer sur "sites géographiques".

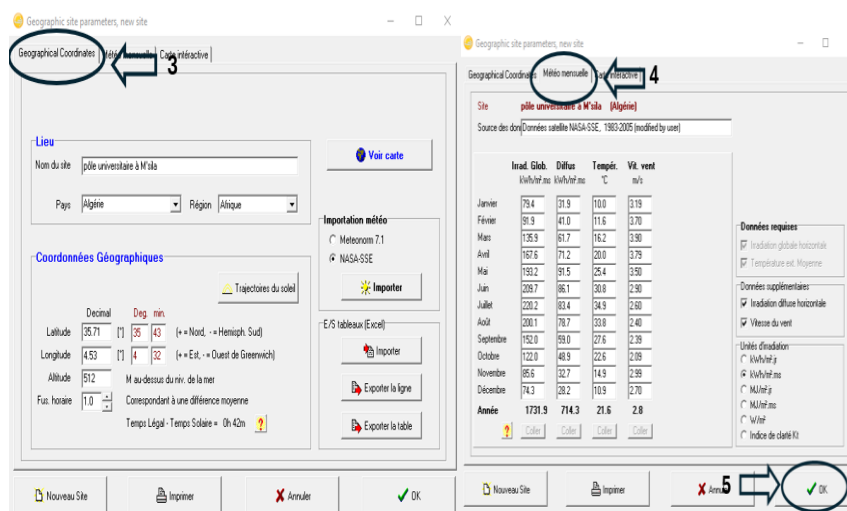


Figure II-10. Donnée les paramètres de site géographique.

### II.4.3.2. Saisie et définition des données géographiques :

Pour définir les caractéristiques du site géographique dans le programme PVsyst, il faut d'abord cliquer sur l'option "Coordonnées géographiques", puis entrer les informations de base telles que le nom du site, le pays et la région. Ensuite, on se dirige vers la section "Météo mensuelle" pour entrer les données climatiques, en particulier la moyenne de l'irradiation solaire globale et la température moyenne mensuelle.

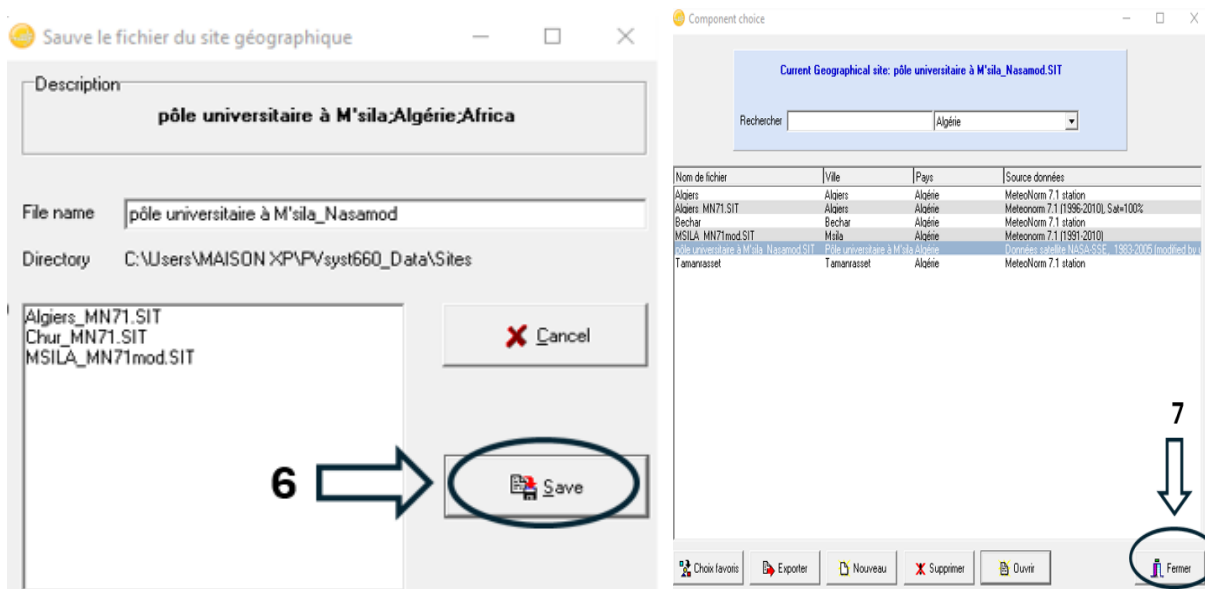


Figure II-11. Enregistrer site géographique.

- ✓ Enregistrer site géographique, cliqué « Save », et après ça cliqué « Fermer ».

II.4.3.3. Evaluation mode de projet :

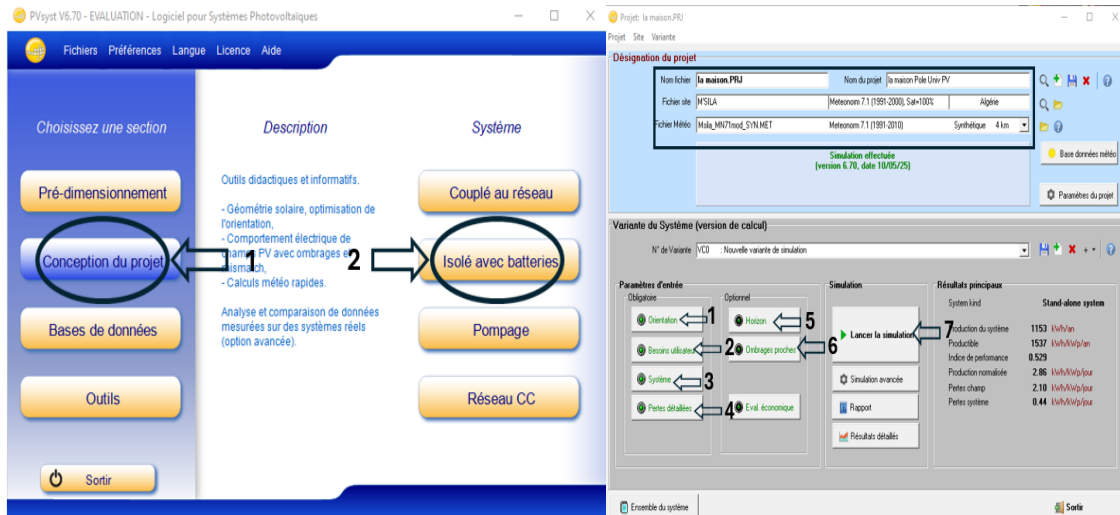


Figure II-12. Conception du projet.

- ✓ Nous choisissons « Conception du projet », et cliqué « Isolé avec batteries », après ça cliqué « Ok », et données les paramètres Dr projet (Projet, Orientation, System.....etc.).

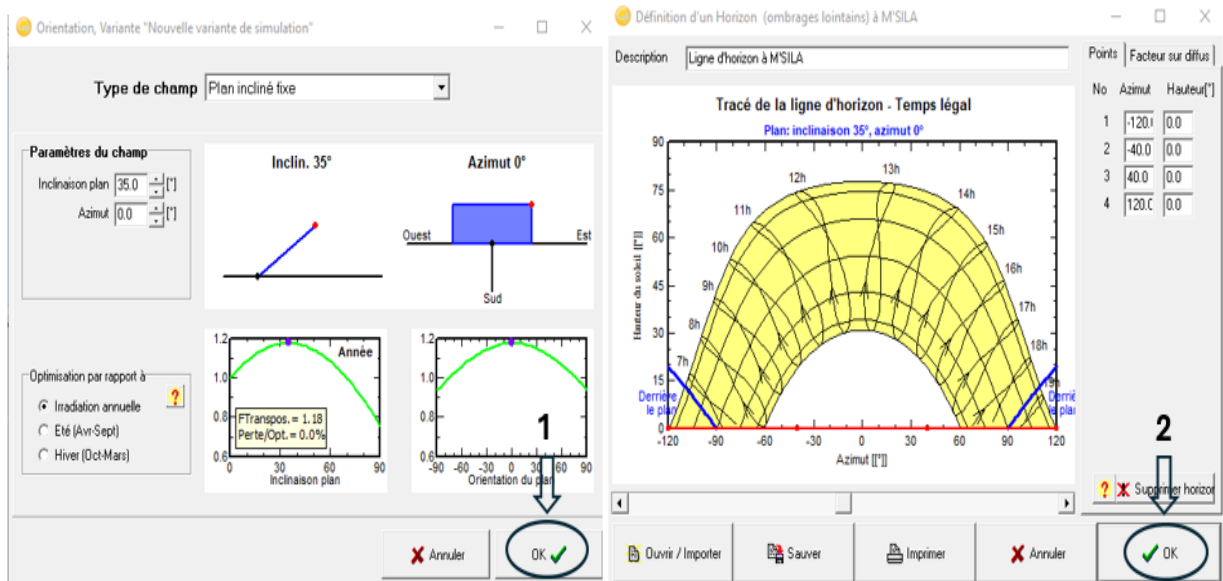


Figure II-13. Définition Orientation et Horizon.

- ✓ Orientation de pole Université m'sila : inclinaison = 35°, et Azimut = 0°(SUD) pour Irradiation annuelle, et les pertes par rapport à l'optimum égale 0%, et global sur plan capteurs égale 1050kw/m2/mois.

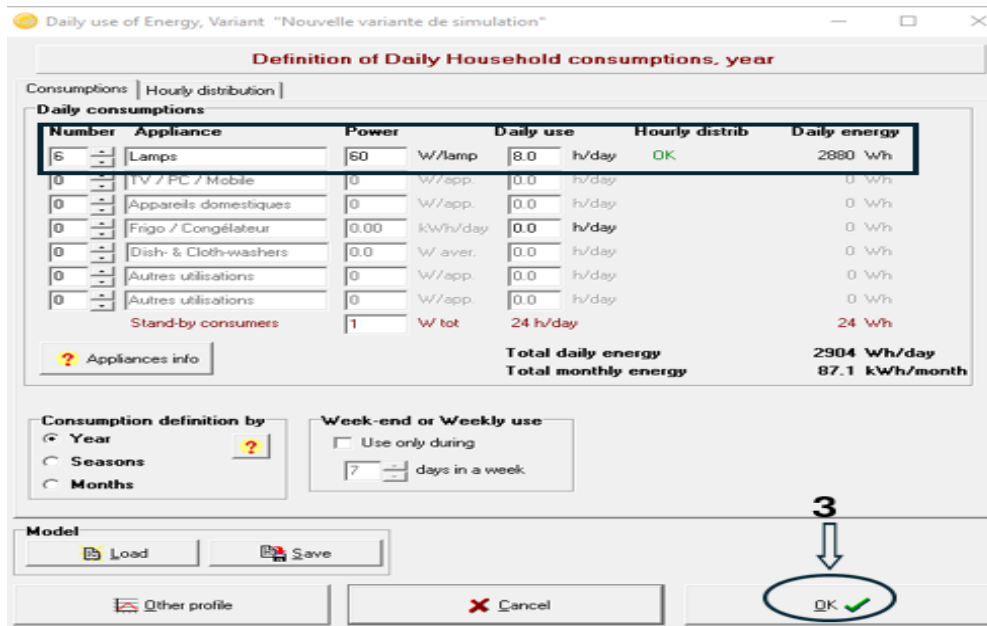


Figure II-14. Consommation d'énergie par jour.

- ✓ Calculez la consommation d'énergie quotidienne à la maison, la valeur de la consommation d'énergie théorique (tableau 6 "calcul manuel") et la valeur pratique (programme PVsyst) sont égales.

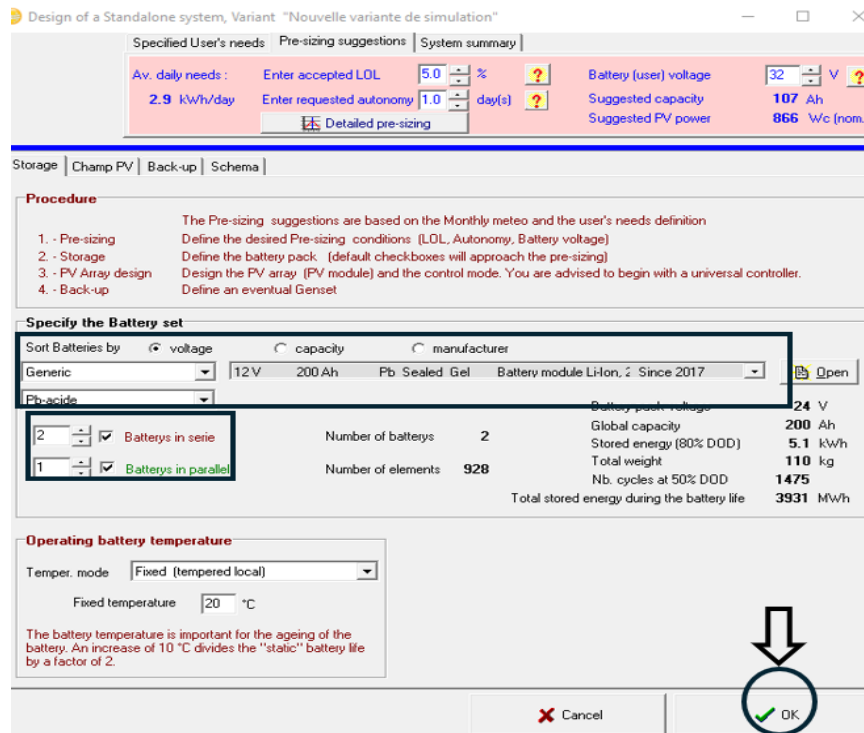


Figure II-15. choix de batterie.

- ✓ Capacité de batterie ( $C_{batt}=200Ah$ ); tension de system ( $V_{sys} =24V$ ) ; nombre de jours d'autonome ( $N_{aut} = 1jour$ ) ;Nombre de batterie total 2 ( $N_s =2$  ;  $N_p=1$ ).

## Chapitre II. Dimensionnement d'un système photovoltaïque

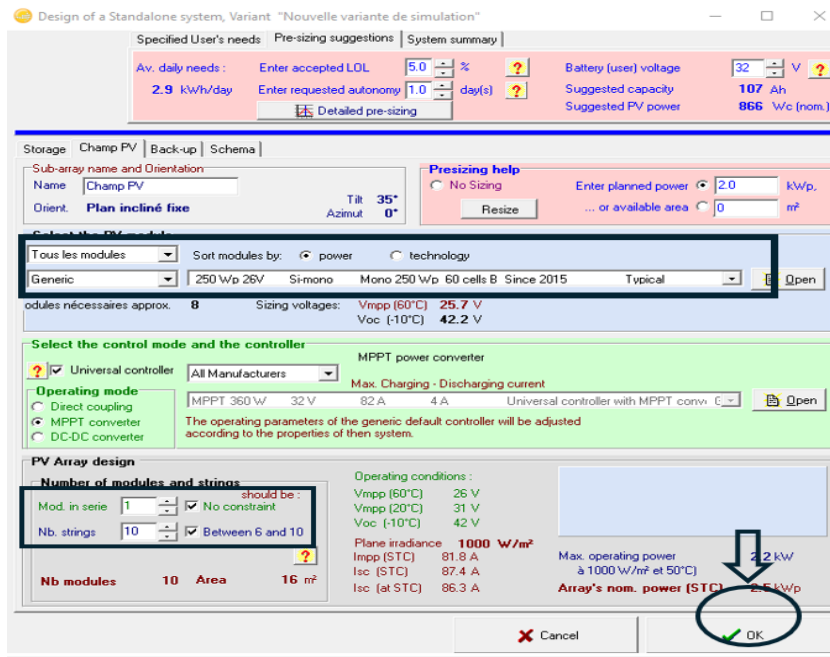


Figure II-16. Choix de panneau.

- ✓ Puissance  $P_{max}=250\text{W}$ , Nombre de batterie total 10 ( $N_s = 1$  ;  $N_p=10$ ).

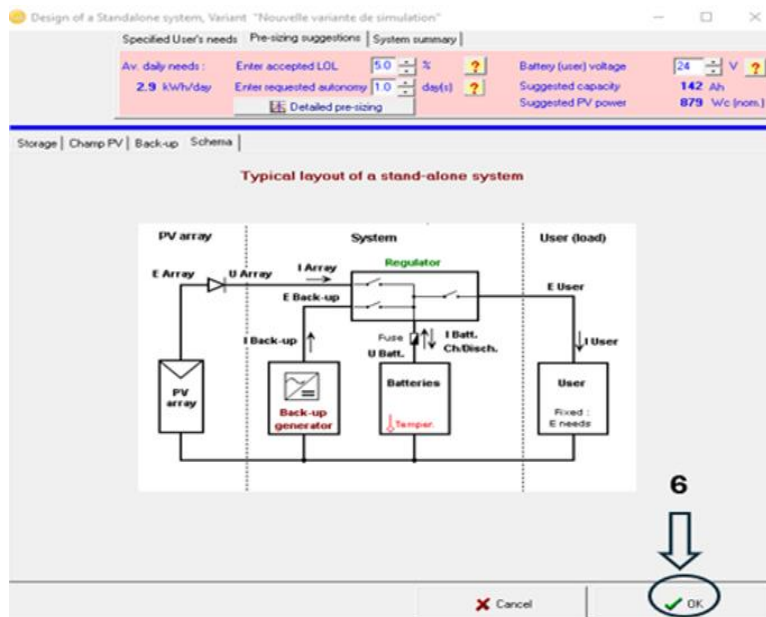


Figure II-17. Schéma de system PV et choix de régulateur et convertisseur.

Schéma général de system photovoltaïque et les choix de régulateur et converti proposé par logiciel Pvsyst.

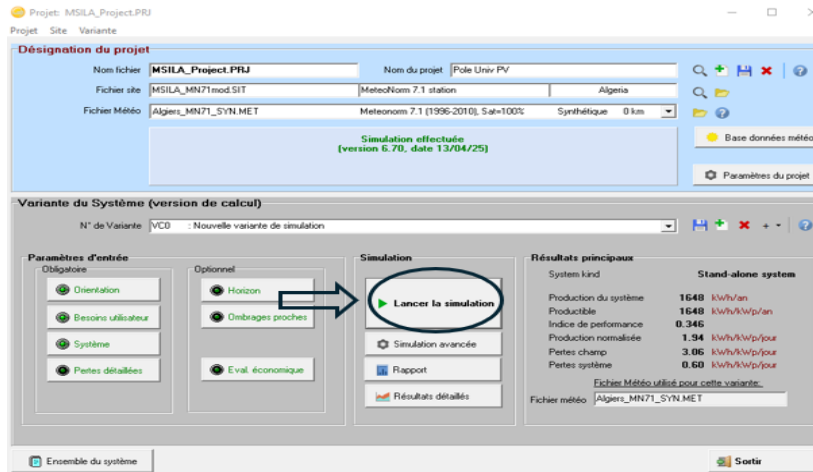


Figure II-18.simulation dans système PV.

Toutes les étapes du projet ont été complétées avec succès, de l'orientation et de l'ombre à la préparation du système, ce qui indique que le projet est prêt à être opérationnel. Nous pouvons maintenant obtenir le rapport final en cliquant sur le bouton 'simulation'.

## II.5. Résultats détaillés :

### II.5.1. Energie incidente de référence dans le plan capteur :

Ce graphique représente l'énergie solaire mensuelle incidente sur le plan des modules photovoltaïques, exprimée en kWh/m<sup>2</sup>/mois. On observe une variation saisonnière marquée, avec une irradiation maximale en juillet (environ 7.5 kWh/m<sup>2</sup>) et une minimale en janvier (environ 4.5 kWh/m<sup>2</sup>). L'énergie solaire globale reçue sur l'année est estimée à 5.608 kWh/m<sup>2</sup>/an, ce qui reflète un bon potentiel solaire pour la production photovoltaïque.

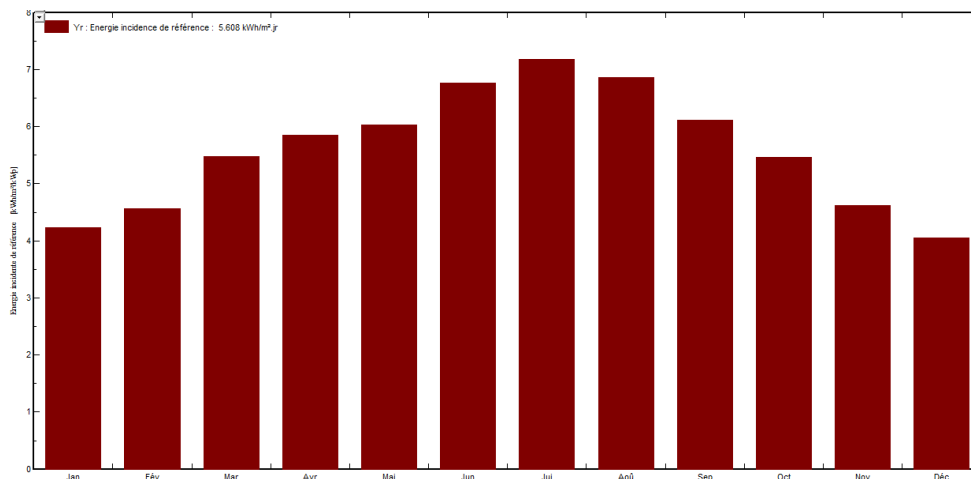


Figure II-19.Energie incidente de référence dans le plan capteur.

### II.5.2. Productions normalisées (par kWp installé) :

Ce diagramme illustre la distribution de l'énergie solaire captée par le système, en kWh/kWc/jour. La partie en marron (YT) représente l'énergie effectivement fournie à l'utilisateur.

Les autres segments indiquent les pertes : les pertes de collection au niveau du champ PV (LC), les pertes dues au système et à la charge batterie (LS), et enfin l'énergie inutilisée lorsque les batteries sont pleines (LU). Ces pertes sont plus importantes pendant les mois d'été où la production est plus élevée, ce qui montre la nécessité d'un bon dimensionnement du stockage pour optimiser l'utilisation de l'énergie.

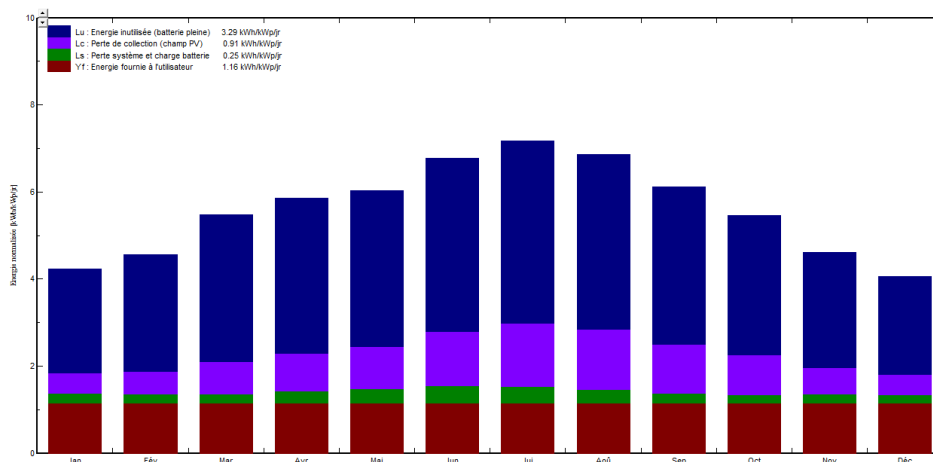


Figure II-20. Productions normalisées (par kwp installé)

### II.5.3. Facteurs normalisés de production et de pertes :

Ce graphique présente la même répartition que la figure précédente, mais sous forme de pourcentages par rapport à l'énergie solaire captée. En moyenne, 66.9 % de l'énergie est utile (YT), tandis que les pertes représentent 33.1 %, réparties entre :

- LC (perte de collection) : 16.1 %
- LS (perte système et charge batterie) : 4.5 %
- LU (énergie inutilisée) : 58.1%

Cette représentation permet de mieux comprendre les priorités d'amélioration : réduire les pertes de collection et mieux dimensionner la capacité de stockage pour minimiser l'énergie perdue.

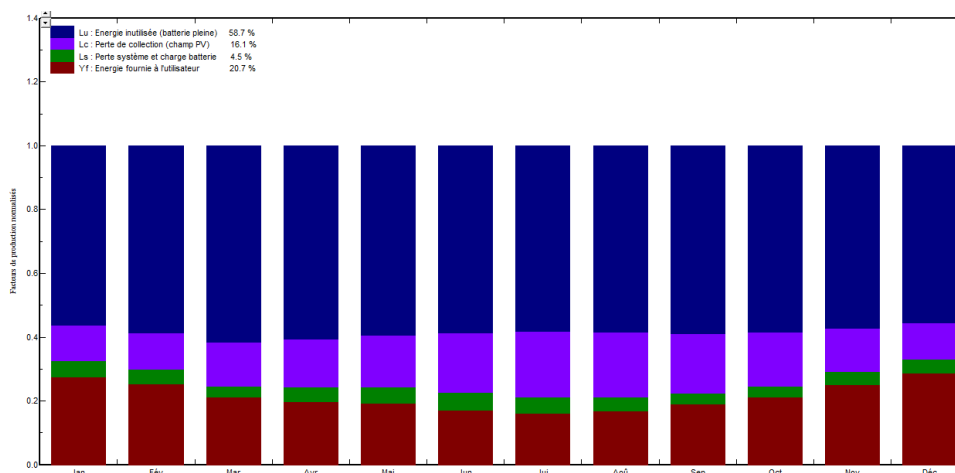


Figure II-21. Facteurs normalisés de production et de pertes : puissance nominale 750wc.

### II.5.4. Diagramme d'entrée/sortie journalier :

Ce nuage de points montre la relation entre l'irradiation solaire globale incidente sur les capteurs (en kWh/m<sup>2</sup>/jour) et l'énergie effective produite par le champ photovoltaïque (en kWh/jour). On observe une tendance quasi-linéaire : plus l'irradiation est élevée, plus l'énergie produite augmente. Les dispersions autour de la ligne de tendance peuvent s'expliquer par des variations de température, l'ombrage temporaire, ou des incidents techniques. Cela confirme que le système réagit efficacement à la ressource solaire disponible.

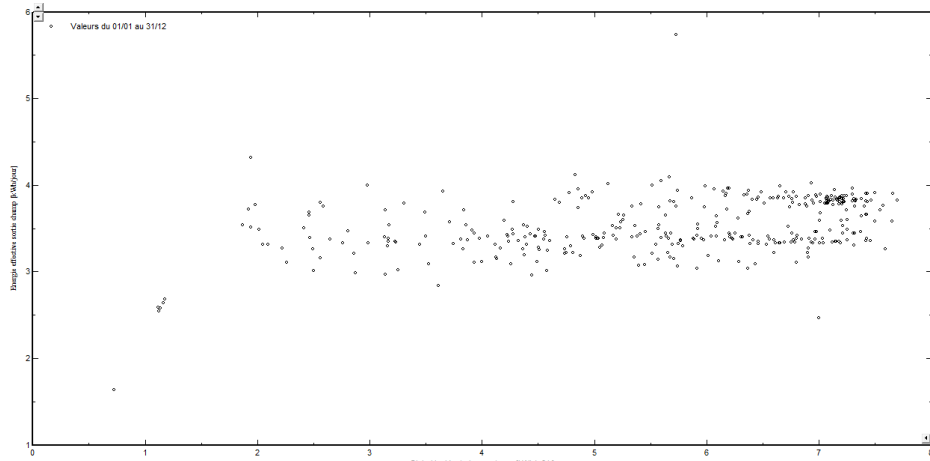


Figure II-22. Diagramme d'entrée/sortie journalier.

### II.5.5. Energie journalisée à la sortie du champ :

Cette figure II-23 présente l'évolution de l'énergie produite quotidiennement (en kWh/jour) tout au long de l'année.

On remarque une forte variabilité pendant les mois d'hiver et d'automne, ce qui s'explique par les conditions météorologiques instables (nuages, pluie). En revanche, la production est plus stable et constante durant le printemps et l'été. Les chutes brutales de production correspondent probablement à des journées très nuageuses ou à des interruptions du système.

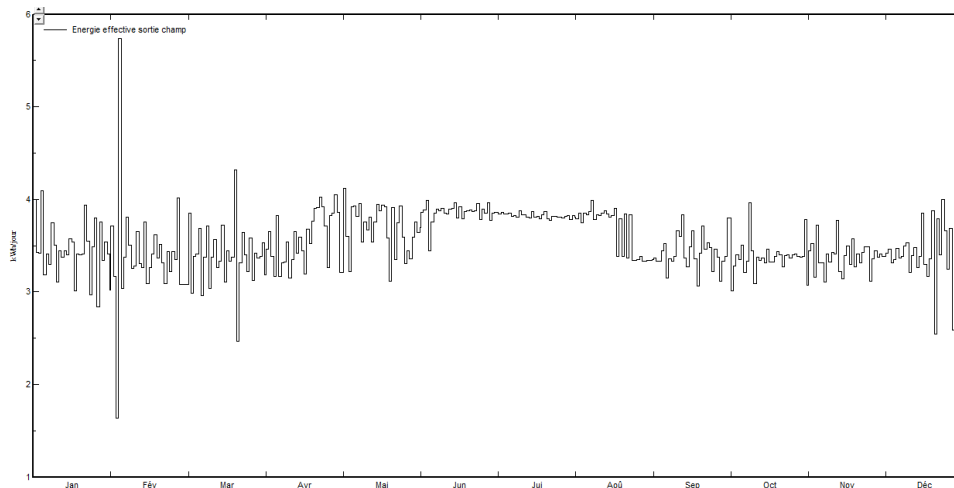


Figure II-23. Energie journalisée à la sortie du champ.

## **II.6. Conclusion**

À la fin de ce chapitre, nous avons pu mettre en œuvre un projet de dimensionnement de système PV basé sur des paramètres de base, tels que les données climatiques, les besoins énergétiques et les caractéristiques de certains composants. Il existe actuellement de nombreux logiciels permettant de déterminer le dimensionnement optimal des systèmes PV, mais sans la connaissance des calculs mathématiques effectués par les concepteurs, certains de ces résultats sont impossibles à interpréter. Par conséquent, les calculs mathématiques sont essentiels pour chaque concepteur afin d'acquérir une première compréhension autour le dimensionnement du système. Les résultats obtenus démontrent la similitude entre les calculs manuels et ceux obtenues par PVSYST. Cependant, les résultats de PVSYST étaient plus complets, fournissant des rapports techniques confirmant la capacité du système proposé à répondre efficacement aux besoins énergétiques de la charge tout au long de l'année, tout en garantissant une alimentation continue et une production stable. Cette étape essentielle constitue donc la transition vers la phase de réalisation et d'installation pratique du système et fournit une base solide pour l'évaluation de ses performances réelles.

# Chapitre III

## Matériels et méthodes

## Chapitre III. Matériels et méthodes

### III.1. Introduction :

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes au monde, en raison de sa large disponibilité et de sa propreté environnementale. Avec l'augmentation de la dépendance aux systèmes photovoltaïques, le besoin d'outils intelligents pour surveiller leur performance et améliorer leur utilisation est apparu. Dans ce cadre, notre projet vise à offrir un système intégré combinant le panneau solaire et les composants électroniques, soutenu par la technologie de l'Internet des objets. L'objectif est de collecter des données météorologiques et des facteurs environnementaux entourant le panneau, tels que la température, l'humidité et l'intensité de la pluie, et de les afficher en temps réel sur une application mobile dédiée. Ce système fournit une solution pratique et efficace pour suivre la performance des systèmes solaires avec précision et facilité.

### III.2. L'internet des objets (IoT) :

L'Internet des objets, ou IoT, est un réseau d'objets connectés communiquant avec le cloud et d'autres dispositifs IoT pour partager des données. Les dispositifs IoT, y compris les biens de consommation et les machines numériques et mécaniques, sont souvent dotés de technologies telles que des capteurs et des logiciels. Les entreprises de nombreux secteurs utilisent l'IoT pour augmenter la productivité, offrir un meilleur service client, prendre de meilleures décisions et ajouter de la valeur à leurs entreprises. L'IoT permet de transférer des données à travers un réseau sans nécessiter de communication entre les personnes ou entre les personnes et les ordinateurs. Une automobile avec des capteurs intégrés pour avertir le conducteur lorsque la pression des pneus est basse, une personne avec un moniteur cardiaque implanté, un animal de ferme avec un transpondeur à biochip, ou tout autre objet naturel ou artificiel pouvant se voir attribuer une adresse IP et capable d'envoyer des données sur un réseau peuvent tous être considérés comme des "choses" dans le contexte de l'internet des objets[30] .

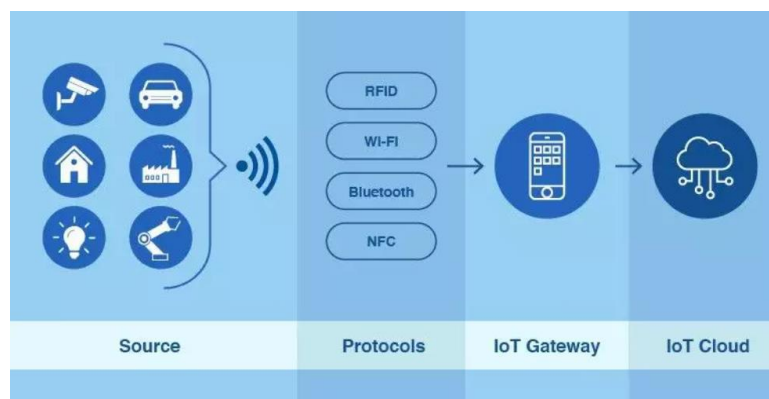


Figure III-1.L'internet des objets (IoT).

### III.3. Architecture des systèmes photovoltaïques solaires basés sur l'IoT :

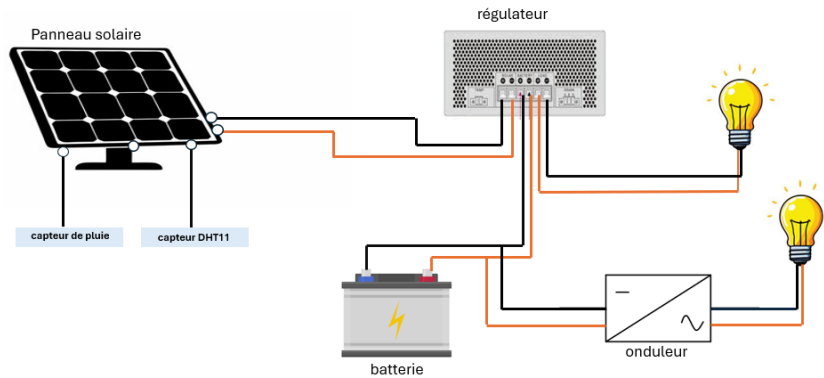


Figure III-2. Système de surveillance domestique basé sur l'IoT.

### III.4. Outils de conception matérielle et logicielle :

La figure III.3 montre le matériel de câblage de la carte principale du système proposé.

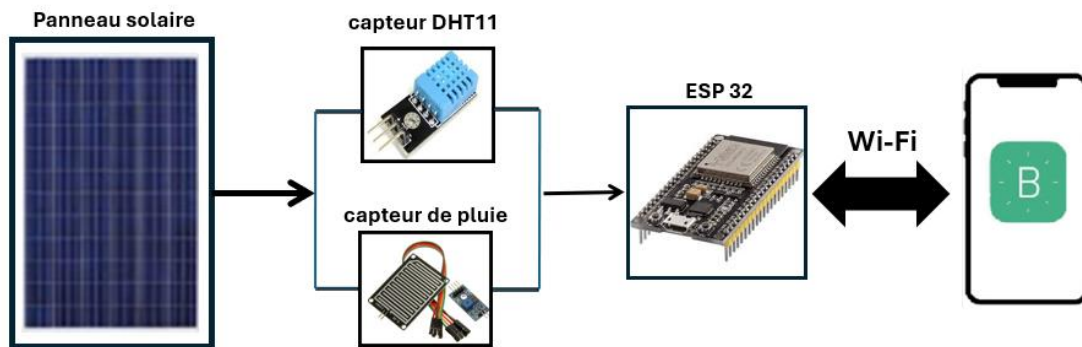


Figure III-3. Les capteurs utilisés dans le système.

### III.5. Les composants électrique:

#### III.5.1. Panneaux solaires photovoltaïques:

Le silicium monocristallin est généralement produit en utilisant différentes techniques, où le silicium pur est fondu à une température élevée (ne contenant que quelques parties par million d'impuretés), puis une graine est utilisée pour initier la croissance d'un cristal unique continu.

Caractéristiques techniques :

- Puissance maximale : 250W
- Tension maximale de puissance : 30V
- Courant de puissance maximale : 8.34A
- Courant en circuit ouvert : 9.17A
- Tension à circuit ouvert : 36V
- Taille maximale de la tension du système : 1000VDC



Figure III-4. Panneau solaire.

### III.5.2. Onduleur:

L'onduleur est l'une des technologies de base dans les systèmes solaires, car il convertit le courant continu (CC) produit par les panneaux solaires en courant alternatif (CA) utilisable. C'est pourquoi nous avons choisi le Victron Energy Phoenix comme onduleur dans notre projet [31].



Figure III-5. Onduleur.

### III.5.3. Batterie:

Cet élément est utilisé principalement dans les systèmes isolés du réseau électrique ou en cas de coupure de courant, dans le but de stocker l'énergie électrique produite. Il joue également un rôle essentiel dans la garantie de la continuité de l'approvisionnement en énergie pendant les périodes de temps nuageux ou la nuit [32].



Figure III-6. Batterie.

### III.5.4. Le régulateur:

Le régulateur de tension, comme indiqué dans la figure III.6, est un dispositif qui garantit le maintien d'une tension de sortie constante, indépendamment des variations de la source d'alimentation ou des fluctuations des conditions de charge. C'est pourquoi il a été adopté dans notre système de serre. De plus, le régulateur de tension offre plusieurs fonctions de protection importantes telles que : la protection contre les surtensions, la protection contre les courts-circuits, l'arrêt thermique automatique et la limitation du courant électrique [33].



Figure III-7. Le régulateur de tension.

## III.6. Les composants électroniques :

### III.6.1.ESP32:

#### III.6.1.1. Définition :

C'est une série de microcontrôleurs de type système sur une puce (Soc) d'Expressif Système, basé sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensica (en), intégrant la gestion du Wi-Fi et du Bluetooth (jusqu'à LE 5.0 et 5.11) en mode double, et un DSP, il a rencontré un certain succès depuis quelques années à la fois pour son coût, ses capacités et son intégration (Figure III-6). Il a été développé par la société Expressif (une société chinoise situé à Shanghai) dédiée à l'internet des objets (IOT) [15].



Figure III-8. La carte ESP32.

#### III.6.1.2. Caractéristique de la carte ESP32 :

- Processeurs : CPU (Xtensa double-coeur, microprocesseur LX 2 bit), coprocesseur ultra basse consommation (ULO).
- Wifi : Fréquence de 2.4 GHz, vitesse de transmission jusqu'à 150Mbits/s, et une norme de 802.11b/g/n.
- Bluetooth: BLE (Bluetooth Low Energy), Bluetooth Classique.
- Architecture: CPU 2bits.
- RAM: 512KO.
- ROM: 448 448KB.
- Mémoire Flash: 4Mo.
- Pins: 36Pins.
- Périphériques: Tactile capacitif, ADC, DAC, L2C, UART, Can2.0, Spi, L2S, RMII, PWM.
- Dimension: 48\*26\*11.5mm.
- Température : -40°C à 125°C.

#### III.6.1.3. Les périphériques de la carte ESP 32 :

- 18 canaux de convertisseur analogique-numérique (ADC).
- 03 interfaces SPI.

- 02 interfaces I2C.
- 16 canaux de sortie PWM.
- 02canaux numérique-analogique (DAC).
- 02 interfaces I2s.
- 10GPIO à détection capacitive.

### III.6.1.4. Les pins de la carte ESP 32 :

L'image ci-dessous (Figure III-9) illustre le brochage de L'ESP 32 :

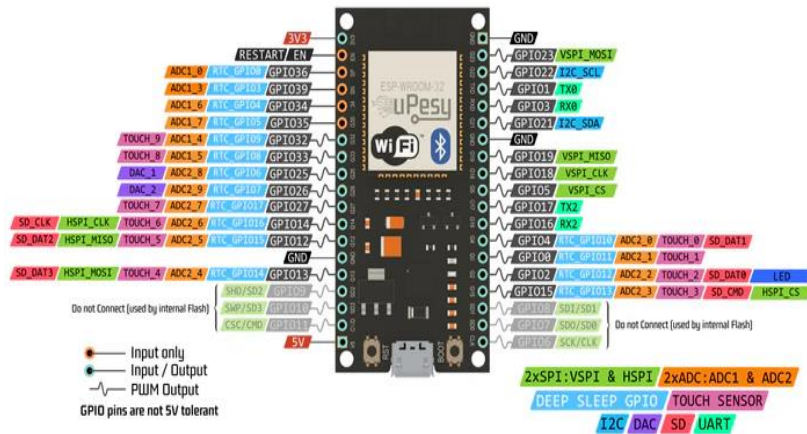


Figure III-9. Le branchement de l'ESP 32.

### III.6.2. DHT11–Capture de Température et d'Humidité :

#### III.6.2.1. Définition :

Le DHT11 est un capteur numérique d'humidité et de température qui a la capacité de mesurer la température ambiante et l'humidité relative de l'air environnant. Il est fréquemment employé dans des domaines où il est essentiel de surveiller les conditions environnementales, comme les systèmes de contrôle de l'environnement dans les bâtiments, les serres, les incubateurs, les chambres de culture ou les projets de bricolage. Les projets de domotique utilisent également fréquemment le capteur DHT11 afin de surveiller la température et l'humidité de l'air et d'ajuster en conséquence les systèmes de climatisation ou de chauffage[33] .



Figure III-10. Capteur de température et d'humidité de l'air (DHT11).

### III.6.2.2. Table de câblage du capteur de de température et d'humidité DHT11 avec la carte ESP32 :

Table III-1.De câblage du capteur de DHT11 avec la carte ESP32.

Broche du capteur DHT11	Connectée à la broche ESP32
VCC	3.3V ou 5V (selon le module)
DATA	GPIO (ex. GPIO 4)
GND	GND

### III.6.2.3. Branchement du Capteur température et d'humidité DHT11 :

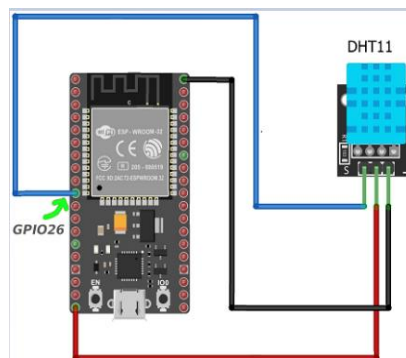


Figure III-11.Capteur de température et d'humidité DHT11 avec ESP32.

### III.6.3. Capture de pluie:

#### III.6.3.1. Définition :

Un détecteur de pluie, ou sonde de pluie, est un dispositif de commutation électronique activé par la pluie permettant de déclencher ou d'arrêter un appareil tel qu'un système d'irrigation ou des essuie-glaces. Ce n'est pas un appareil de mesure des précipitations, ce qui est la vocation des pluviomètres pourtant parfois convertis en détecteurs (Figure III-15).

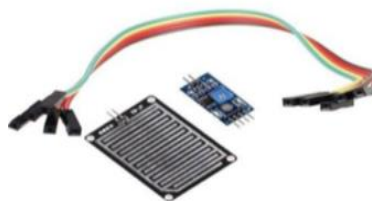


Figure III-12.Capteur de pluie.

#### III.6.3.2. Caractéristiques :

- Tension de fonctionnement : 3,3 V - 5 V.
- Zone PCB : 55 mm X 40 mm
- Comparateur de puces LM393.
- Il possède un potentiomètre pour régler la sensibilité.

- Valeur de sortie : FAIBLE lorsqu'il est mouillé (100K ohm) et ÉLEVÉ lorsqu'il est sec (2M Ohm).

### III.6.3.3. Table de câblage du capteur de pluie avec la carte ESP32 :

Table III-2. De câblage du capteur de pluie avec la carte ESP32.

Broche pluie	Connectée à la broche ESP32
VCC	5V
GND	GND
AO	GPIO36
DO	GPIO14

### III.6.3.4. Branchement du Capteur de pluie avec ESP32 :

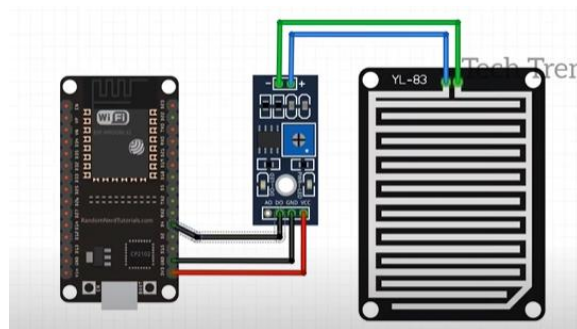


Figure III-13. Capteur de pluie avec ESP32.

## III.7. Phases de travail :

### III.7.1. Les composants électriques :



Figure III-14. Les composants électriques.

La mise en œuvre du câblage électrique d'un système photovoltaïque autonome suit une séquence logique visant à garantir une performance optimale et une sécurité maximale. Dans un premier temps, le module photovoltaïque est connecté au régulateur de charge, qui joue un rôle essentiel dans la régulation du courant et de la tension issus de la conversion de l'énergie solaire,

tout en assurant la protection de la batterie contre les surtensions et les décharges profondes. Ensuite, la batterie de stockage est reliée au régulateur afin de stocker l'énergie électrique produite pendant la journée. Enfin, les charges en courant continu ou alternatif — telles que l'onduleur (convertisseur DC/AC) et les points lumineux — sont branchées à la sortie de charge (LOAD) du régulateur. Cette configuration assure une alimentation fiable des équipements électriques et une gestion énergétique efficace du système.

### **III.7.2. Les composants électroniques intelligents :**

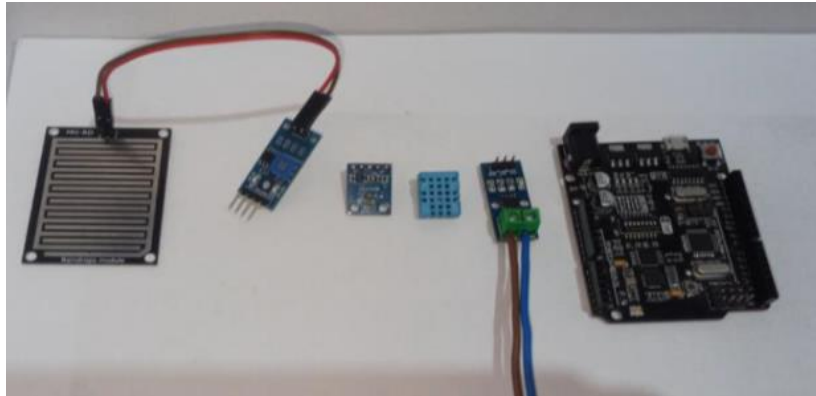


Figure III-15. Les capteurs utilisés dans le système.

### **III.7.3. Test de système :**

Nous assemblons les composants, puis nous effectuons un test.

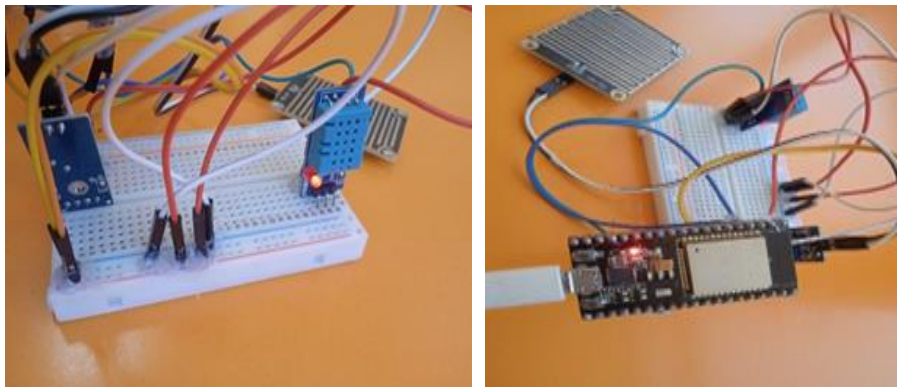


Figure III-16. Test de système.

### **III.7.4. État de l'installation finale :**

Nous avons installé un boîtier personnalisé pour fixer et protéger les composants électroniques, dans le but de présenter le projet sous sa forme finale en tant que produit prêt.

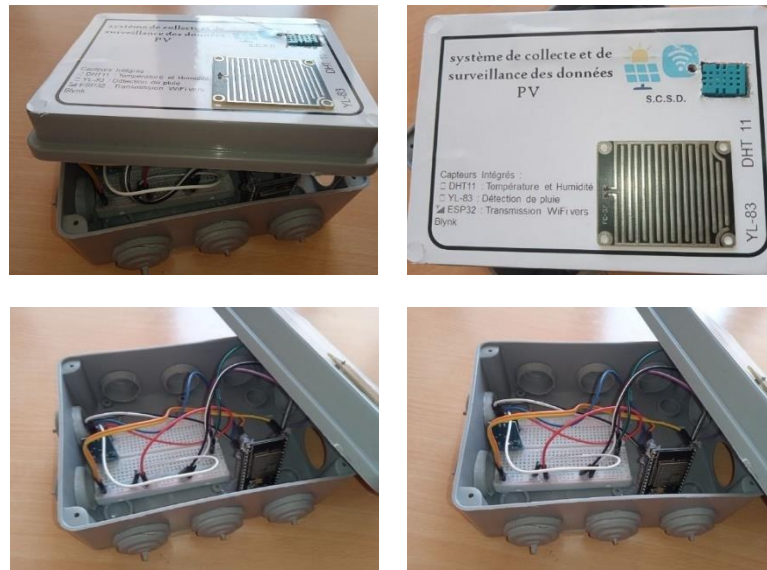


Figure III-17.L'installation finale.

### III.7.5. Plan d'organisation du code :

Dans ce projet, le logiciel Arduino IDE a été utilisé pour programmer le module ESP32, où nous avons écrit un code qui lit les données des différents capteurs, les traite, puis les envoie à l'application Blynk via le réseau Wi-Fi, pour les afficher sur le smartphone en temps réel.

#### III.7.5.1. Structure du code Arduino :

Ce programme se compose d'un ensemble de commandes qui mesurent chacun des éléments suivants :

Température, humidité, tension électrique, intensité du courant, et état de la pluie.

Ensuite, ces valeurs sont converties en chaînes de caractères (Strings) et envoyées directement à l'application Blynk, qui les affiche via une interface graphique interactive sur le smartphone, permettant ainsi de suivre l'état du système en temps réel.

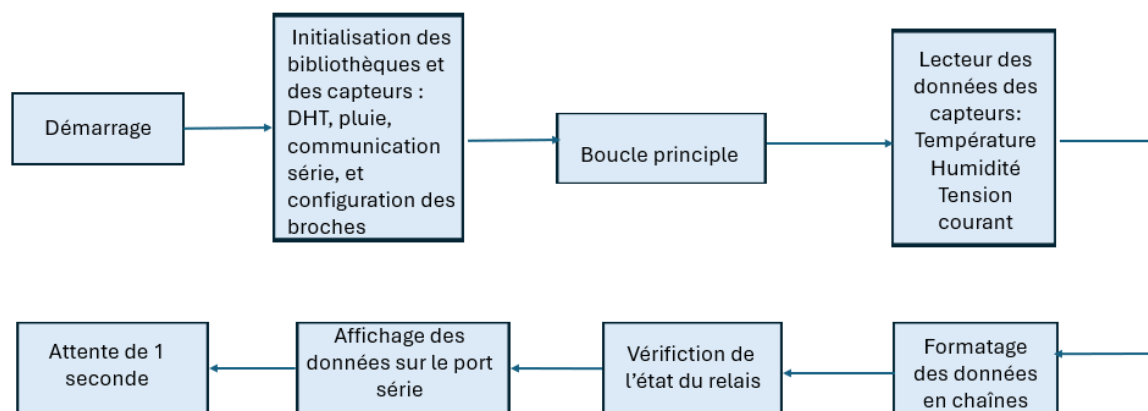


Figure III-18.Diagramme pour le code Arduino.

### III.7.5.2. Structure du code Esp :

Ce programme configure un module ESP32 pour se connecter à un réseau Wi-Fi, lire les données du capteur reçues via le lien série, et envoyer ces données à un serveur distant. Les données sont envoyées.

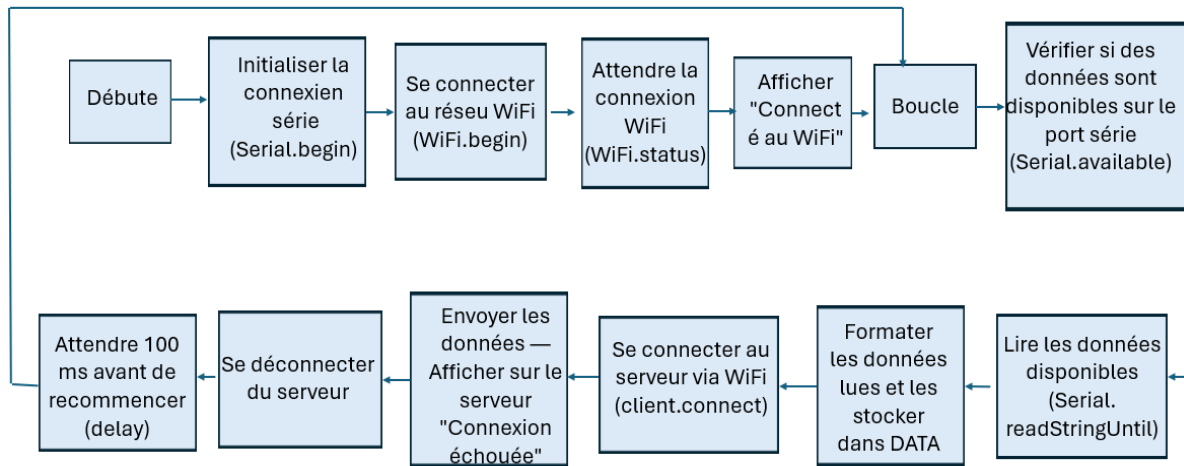


Figure III-19.la structure pour le code Esp.

### III.7.6.Intégration de l'application mobile Blynk :

Pour assurer la surveillance à distance en temps réel dans notre système photovoltaïque, nous avons utilisé la plateforme mobile Blynk IoT. Cette application permet de créer une interface graphique sur le smartphone pour interagir avec la carte ESP32 via le réseau Wi-Fi.

Grâce à Blynk, il est possible de :

- Afficher les données mesurées (température, humidité, pluie, etc.)

#### III.7.6.1. Étapes pour connecter Blynk au système :

- Création d'un compte Blynk :

L'application est téléchargée et un compte gratuit est créé en utilisant une adresse e-mail.

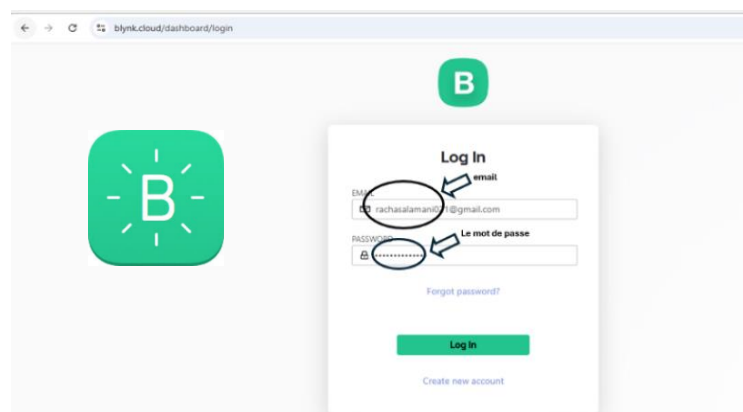


Figure III-20.Création du compte Blynk

- Réaction d'un projet et d'un appareil (device) :

Le type de matériel (ESP32) est sélectionné et le nom du projet est défini.



Figure III-21. Création d'un projet et d'un appareil.

- Ajout des widgets (bouton, affichage...) :

Comme des boutons de contrôle, des écrans d'affichage de données, des compteurs, etc.

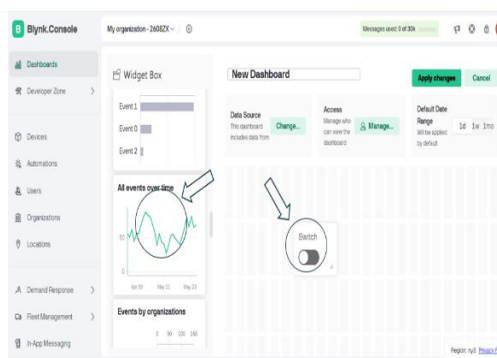


Figure III-22. Configuration du bouton de commande.

- Écriture du code dans l'ESP32 pour se connecter à Blynk :

À travers la bibliothèque officielle Blynk dans le programme Arduino IDE.



Figure III-23. le programme Arduino IDE

- Conception de logiciels

Le système repose sur des capteurs connectés à une carte ESP32 pour mesurer des données telles que la température, l'humidité et l'intensité des pluies en temps réel. Ces données sont traitées localement puis envoyées via le réseau Wi-Fi à l'application Blynk, permettant ainsi leur affichage en temps réel sur un smartphone ou un ordinateur. Cela permet à l'utilisateur de surveiller en continu les données environnementales, dans une structure basée sur les technologies de l'Internet des objets, rendant le système efficace et pratique pour suivre la performance de l'énergie solaire et les conditions climatiques environnantes.

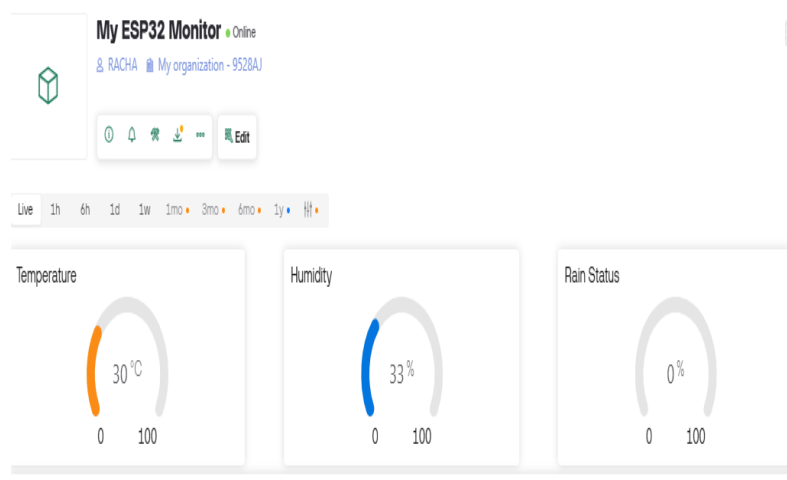


Figure III-24. Surveillance de la performance des panneaux solaires via l'application Blynk sur PC.

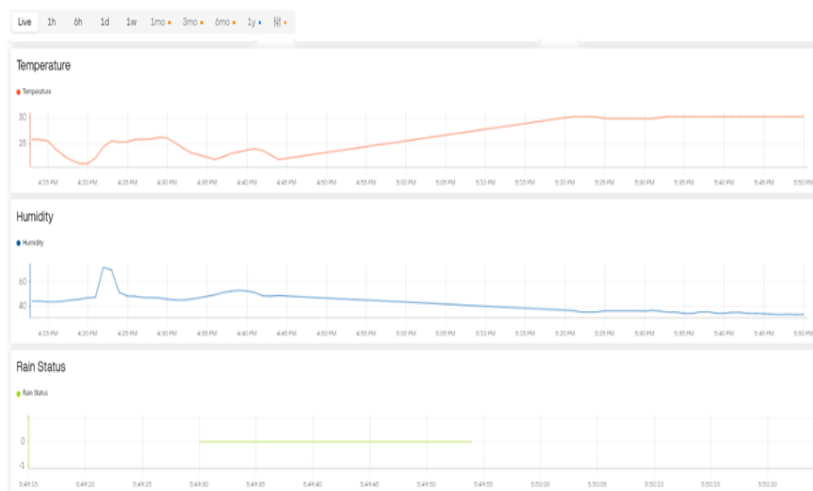


Figure III-25. Représentation graphique des données environnementales (température, humidité, état de la pluie) en temps réel via la plateforme Blynk



Figure III-26. Interface d'application pour afficher les données de température, d'humidité et de détection de pluie en temps réel.

L'interface de l'application qui affiche les données envoyées par le système en temps réel, telles que la température, le taux d'humidité et l'état de la pluie, comme elles apparaissent sur le smartphone.

### III.8. Le système solaire avancé intégré avec une interface de surveillance en temps réel



Figure III-27. Installation complète du système solaire avec surveillance environnementale en temps réel via Blynk.

À la phase finale, tous les composants du système solaire développé ont été connectés de manière pratique comme illustré dans la figure ci-dessus. Le système se compose d'un panneau

solaire, d'un régulateur de charge, d'une batterie et d'un onduleur, ainsi que d'une unité de contrôle basée sur une carte ESP32 pour lire les données environnementales à l'aide de capteurs de température (DHT11), d'humidité et de pluie.

Ces données sont envoyées directement à l'application Blynk via le réseau Wi-Fi, où elles sont affichées sur une interface graphique visible en temps réel via l'ordinateur ou le smartphone. Ce système contribue à surveiller les conditions climatiques affectant les performances des panneaux solaires, ce qui aide à améliorer la gestion de l'énergie et à anticiper les problèmes environnementaux.

### **III.9. Conclusion :**

À la fin de ce travail, un système intelligent a été conçu et mis en œuvre pour surveiller directement et en temps réel les conditions climatiques entourant le panneau solaire. Ce système se compose d'un panneau solaire connecté à un régulateur de charge et à une batterie, formant ensemble un système énergétique autonome. Ce système est soutenu par une unité de contrôle électronique basée sur l'ESP32", avec des capteurs intégrés pour mesurer la température, l'humidité et détecter la pluie.

Les données climatiques mesurées sont automatiquement envoyées via le réseau Wi-Fi à une application spéciale conçue pour afficher les valeurs sur le smartphone de manière simplifiée et instantanée, ce qui facilite le suivi par l'utilisateur des changements climatiques pouvant affecter l'environnement du système énergétique. Cette solution se distingue par sa facilité d'utilisation, sa capacité à s'étendre et à ajouter d'autres capteurs, ce qui la rend adaptée à diverses applications nécessitant une surveillance environnementale continue.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale**

Avec les défis environnementaux croissants et la rareté des ressources énergétiques traditionnelles, les énergies renouvelables sont devenues une option stratégique pour un avenir durable. Parmi ces énergies, l'énergie solaire photovoltaïque se distingue comme une solution prometteuse en raison de la disponibilité du rayonnement solaire dans la plupart des régions du monde, notamment dans des pays comme l'Algérie qui bénéficient d'un rayonnement solaire élevé tout au long de l'année.

Dans ce cadre, notre projet est venu comme une tentative de contribuer à cette transition énergétique, à travers l'étude et la conception d'un système solaire photovoltaïque destiné à alimenter une maison autonome en énergie, avec l'intégration d'un système intelligent pour surveiller les conditions environnementales entourant le système. Nous avons d'abord commencé par le côté théorique, où nous avons abordé les principes de base de l'énergie solaire, les types de panneaux solaires, et les facteurs influençant leur performance, en étudiant les techniques de conversion photovoltaïque. Ensuite, nous sommes passés à la phase de conception (Dimensionnement), où nous avons calculé l'énergie quotidienne requise en fonction des différentes charges électriques, puis sélectionné les composants du système (panneau, batterie, régulateur, onduleur) en tenant compte d'une marge de sécurité et de données climatiques approximatives.

Pour vérifier l'efficacité du système, nous avons utilisé le logiciel PVsyst pour réaliser une simulation détaillée prenant en compte le rayonnement solaire, l'angle d'inclinaison et l'orientation des panneaux. Cette étape nous a permis d'évaluer la production énergétique prévue et de déterminer son adéquation avec les besoins réels. Mais au cours du travail, nous avons remarqué que se fier uniquement aux données théoriques ou aux simulations n'est pas suffisant, car les données climatiques réelles en temps réel sont souvent indisponibles ou difficiles à obtenir facilement, surtout dans les zones reculées ou les maisons non connectées au réseau. Et c'est ici que l'ajout essentiel à notre projet est intervenu, car nous avons conçu un système intelligent pour surveiller les facteurs environnementaux autour des panneaux solaires en temps réel, en utilisant le contrôleur ESP32 relié à plusieurs capteurs tels que DHT11 (pour mesurer la température et l'humidité), YL-83 (pour détecter la pluie), et un capteur de lumière. Ces données sont envoyées directement via Wi-Fi à l'application Blynk, permettant à l'utilisateur de suivre l'état de l'écosystème en temps réel depuis son smartphone.

Ce système ne vise pas seulement à afficher les valeurs, mais représente une étape vers des systèmes énergétiques intelligents capables d'interagir avec leur environnement, de réguler leur comportement, ou même de prendre des décisions futures basées sur les données collectées. De plus, la disponibilité de données environnementales réelles permet d'améliorer la conception du système ultérieurement ou d'utiliser des algorithmes d'intelligence artificielle et de prévision pour améliorer les performances et prolonger la durée de vie des composants. D'un point de vue scientifique, ce projet nous a permis d'intégrer les connaissances académiques en électronique, programmation, énergies renouvelables et communications sans fil dans un produit pratique et complet. Quant à l'aspect technique, nous avons développé des compétences dans la manipulation des microcontrôleurs, la lecture et l'analyse des signaux des capteurs, et l'utilisation des applications pour smartphones pour le contrôle et la surveillance.

En fin de compte, on peut dire que notre projet représente le noyau d'une solution pratique et innovante, alliant la conception d'un système solaire optimisé et la capacité d'interagir intelligemment avec l'environnement, ce qui renforce la durabilité des performances et pave la voie à des projets futurs plus avancés. Il met également en lumière l'importance de la surveillance des données climatiques en temps réel, en tant qu'outil essentiel pour améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques et élargir leur utilisation dans différentes conditions.

# Annexes

# ANNEXES A : Rapport du projet de système photovoltaïque domestique autonome :

PVSYST V6.70		10/04/25	Page 1/4
<b>Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation</b>			
<b>Projet : la maison Pole Univ PV</b>			
<b>Site géographique</b>	<b>Algiers</b>	Pays	<b>Algérie</b>
<b>Situation</b>	Latitude 36.72° N	Longitude	3.25° E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	22 m
	Albédo 0.20		
<b>Données météo:</b>	<b>Algiers</b>	Meteonorm 7.1 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique	
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>			
	Date de la simulation	10/04/25 à 07h33	
<b>Paramètres de simulation</b>	Type de système	<b>Stand-alone system</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	Inclinaison	35°	Azimut 0°
<b>Modèles utilisés</b>	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>			
<b>Module PV</b>	Si-mono	Modèle	<b>Mono 250 Wp 60 cells Bifacial</b>
Original PVsyst database		Fabricant	Generic
Nombre de modules PV		En série	1 modules
Nombre total de modules PV	Nbre modules		En parallèle 10 chaînes
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	<b>2500 Wc</b>	Puissance unitaire 250 Wc
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	27 V	Aux cond. de fonct. 2217 Wc (50°C)
Surface totale	Surface modules	<b>16.3 m<sup>2</sup></b>	l mpp 82 A
			Surface cellule 14.2 m <sup>2</sup>
<b>Facteurs de perte du champ PV</b>			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (vent) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	5.6 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes 2.3 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes 0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo 0.05
<b>Paramètres du système</b>	Type de système	<b>Système isolé avec batteries</b>	
<b>Batterie</b>	Modèle	<b>Battery module Li-Ion, 26V 180 Ah</b>	
	Fabricant	Generic	
Caractéristiques du banc de batteries	Tension	32 V	Capacité nominale 200 Ah
	Nombre d'unités	2 en série	
	Température	Fixée (20°C)	
<b>Régulateur</b>	Modèle	Universal controller with MPPT convertter	
	Technologie	MPPT convertter	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	
Seuils de régulation batterie	Seuils de commande selon	SOC calculation	
	Charge	SOC = 0.90 / 0.75	i.e. approx. 44.6 / 33.4 V
	Décharge	SOC = 0.20 / 0.45	i.e. approx. 30.9 / 32.6 V
<b>Besoins de l'utilisateur :</b>	Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 2.9 kWh/Jour	

PVSYST V6.70		10/04/25	Page 2/4	
<b>Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur</b>				
<b>Projet : la maison Pole Univ PV</b>				
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>				
<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système	<b>Isolé avec batteries</b>		
Orientation plan capteurs	inclinaison	35°	azimut 0°	
Modules PV	Modèle	Mono 250 Wp 60 cells Bifacial	250 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	10	Pnom total <b>2500 Wc</b>	
Batterie	Battery module	Li-Ion, 26V 180 Ah	Technologie Pb-acide, scellée, Gel	
Batteries	Nombre d'unités	2	Tension / Capacité <b>32 V / 200 Ah</b>	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 1060 kWh/an	
<b>Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 2.9 kWh/jr</b>				
<b>Valeurs annuelles</b>				
	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps (LED or fluo)	6	60 W/lampe	8 h/jour	2880 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	24 Wh/jour
Energie journalière totale				2904 Wh/jour

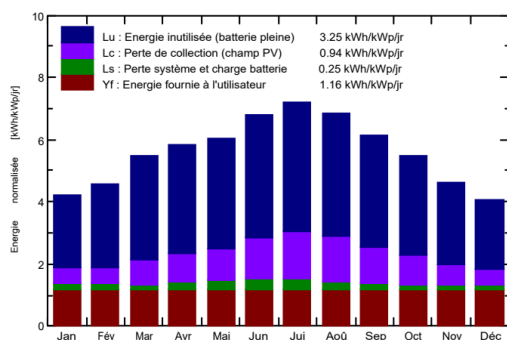
### Système isolé avec batteries: Résultats principaux

**Projet :** la maison Pole Univ PV  
**Variante de simulation :** Nouvelle variante de simulation

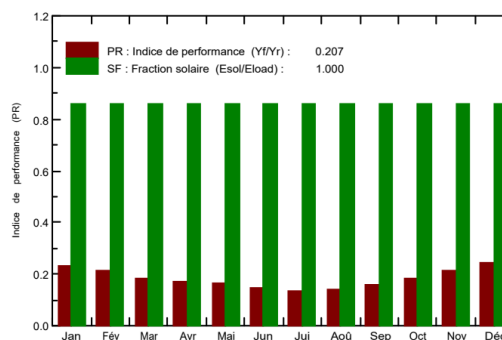
<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système	<b>Isolé avec batteries</b>		
Orientation plan capteurs	inclinaison	35°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	Mono 250 Wp 60 cells Bifacial	250 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	10	Pnom total	<b>2500 Wc</b>
Batterie	Battery module	Li-Ion, 26V 180 Ah	Technologie	Pb-acide, scellée, Gel
Batteries	Nombre d'unités	2	Tension / Capacité	<b>32 V / 200 Ah</b>
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global	1060 kWh/an

<b>Principaux résultats de la simulation</b>				
Production du système	<b>Energie disponible</b>	<b>4173 kWh/an</b>	Productible	1669 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	1060 kWh/an	En excès (inutilisée)	2967 kWh/an
	Indice de performance (PR)	20.71 %	Fraction solaire (SF)	100.00 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	0.0 %	Energie manquante	0 kWh/an

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 2500 Wc



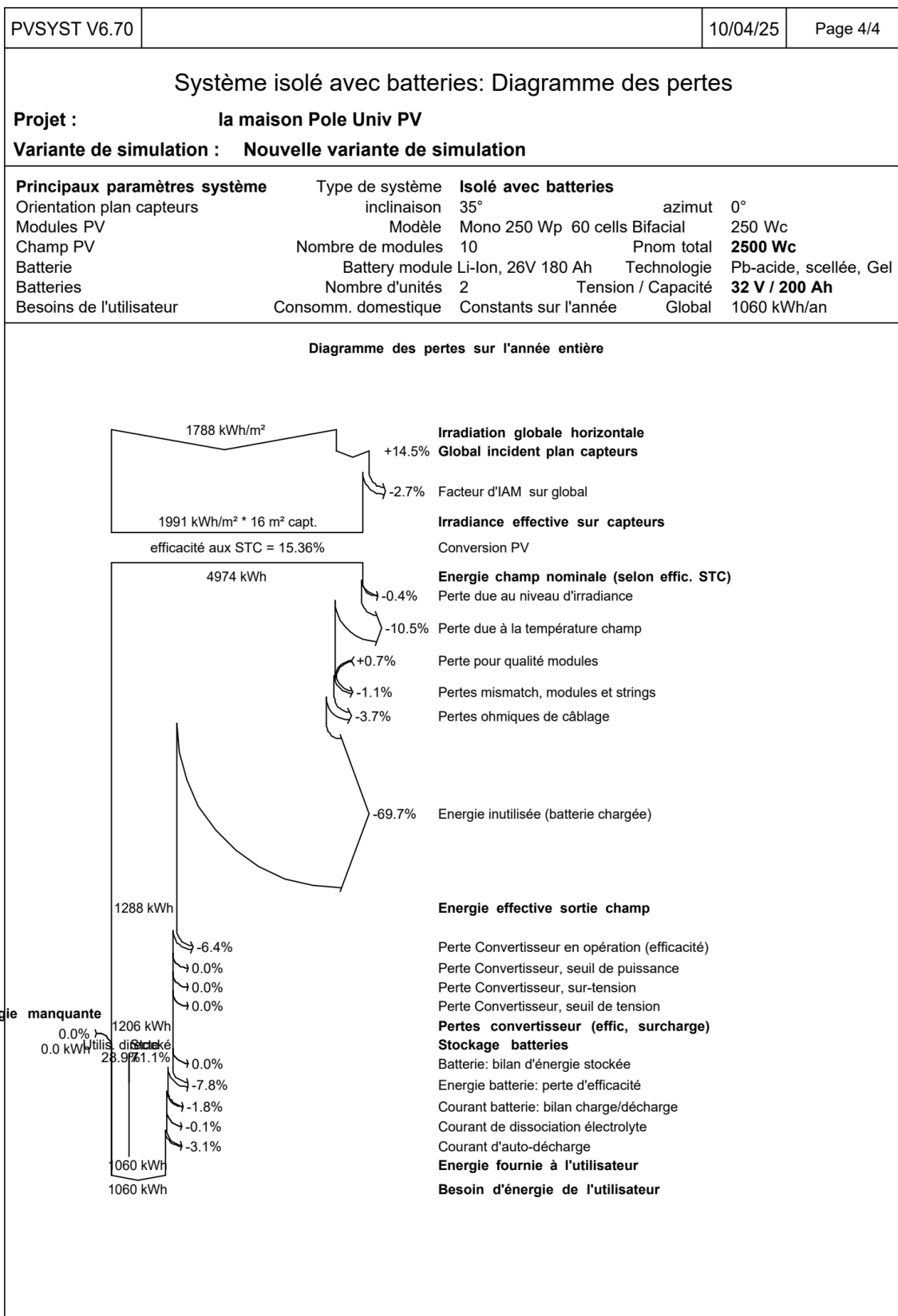
Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)



#### Nouvelle variante de simulation Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E Avail	EUnused	E Miss	E User	E Load	SoIFrac
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	81.1	128.3	282.7	183.0	0.000	90.02	90.02	1.000
Février	91.4	124.7	275.3	185.8	0.000	81.31	81.31	1.000
Mars	140.6	165.3	356.5	258.3	0.000	90.02	90.02	1.000
Avril	166.8	170.4	363.9	263.7	0.000	87.12	87.12	1.000
Mai	198.0	180.9	381.5	274.4	0.000	90.02	90.02	1.000
Juin	223.9	196.4	403.1	294.1	0.000	87.12	87.12	1.000
Juillet	238.8	215.8	431.0	320.0	0.000	90.02	90.02	1.000
Août	206.6	206.6	412.6	307.6	0.000	90.02	90.02	1.000
Septembre	157.3	178.7	363.5	267.2	0.000	87.12	87.12	1.000
Octobre	123.9	165.4	342.3	244.5	0.000	90.02	90.02	1.000
Novembre	87.1	135.3	290.9	195.9	0.000	87.12	87.12	1.000
Décembre	72.9	122.8	269.4	172.5	0.000	90.02	90.02	1.000
Année	1788.5	1990.7	4172.8	2967.0	0.000	1059.96	1059.96	1.000

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E Miss Energie manquante  
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User Energie fournie à l'utilisateur  
 E Avail Energie solaire disponible E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur  
 EUnused Energie inutilisée (batterie chargée) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)



# Références bibliographies

## Références bibliographiques

1. Poize, N. and A. Rüdinger, *Projets citoyens pour la production d'énergie renouvelable: une comparaison France-Allemagne*. IDDRI Paper, 2014. **1**.
2. Cailleux, A. *L'énergie éolienne en France et dans le monde*. in *Annales de géographie*. 1965. JSTOR.
3. Evans, B., *L'énergie hydraulique... et le développement d'un territoire industriel*, in *Face à la puissance*. 2020, La Découverte. p. 171-182.
4. Anjou, C., *L'énergie géothermique: représentations, enseignements et contextes aux Antilles et dans la zone caraïbe*. 2018, Université des Antilles.
5. Landmann, G., et al., *Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie-Focus sur les menus bois et les souches*. 2018.
6. Cherchali, N.O., et al., *Application de la Logique Floue pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale d'un Système Photovoltaïque*.
7. Moumami, A., et al., *Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra*. Une, 2006. **3**(4).
8. Kemmouche, L., *Module de fonctionnement d'une station solaire photovoltaïque en Prévision de panne*. Mémoire de magistère, Université de Constantine, année, 2002.
9. Abdelkrim, A., *Conception et réalisation d'un tracker solaire intelligent à base d'une carte Arduino-Uno*. 2017, Université Mouloud Mammeri.
10. Eddine, T.N. and G. Slimane, *Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque*. Master Académique en Génie Electrique Option Réseaux Electriques, Université Echahid Hama Lakhder d'el-oued, 2015.
11. Fraas, L. and L. Partain, *Solar cells: A brief history and introduction*. Solar cells and their applications, 2010: p. 1-15.
12. Labouret, A. and M. Viloz, *Energie solaire photovoltaïque*. Vol. 3. 2006: Dunod Paris.
13. Naumenko, K. and V.A. Eremeyev, *A layer-wise theory for laminated glass and photovoltaic panels*. Composite Structures, 2014. **112**: p. 283-291.
14. GUERRIDA, A.H. and S. GUERRIDA, *Etude technique et économique d'un générateur PV pour alimenter les appareils des bureaux de la Faculté Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de l'Univers*.
15. Belarbi, M., *Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome*. 2015, University of sciences and technology in Oran.
16. Fateh, S., *Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique, mémoire de Magistère, université Ferhat Abbas–Setif-Ufas (Algérie)*. Option: Réseaux Electriques, 2011: p. 6.
17. Bilbao, A., *Réalisation de Commandes MPPT Numériques*. Tarragona. URV. Publicat l'any, 2006.
18. Khalef Habib Errahmane, S.R., *Dimensionnement d'un système de Pompage Photovoltaïque Utiliser pour l'irrigation. Etude de Cas*.
19. Zorig, A. and S. BARKAT, *Modélisation et commande d'un système de production d'énergie photovoltaïque couplé au réseau triphasé*. Mémoire de master, Université de Msila, 2011.

20. Chaabene, M., *Gestion énergétique des panneaux photovoltaïques*. Université de Sfax, 2009.
21. MECHEHAT, T. and M. ASSAL, *Contribution à la gestion d'énergie d'un système renouvelable: panneau photovoltaïque/batterie*. Université KASDI-MERBAH Ouargla.
22. Abouda, S., *Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques: application aux systèmes de pompes*. 2015, Reims.
23. Chikate, B.V., Y. Sadawarte, and B. Sewagram, *The factors affecting the performance of solar cell*. International journal of computer applications, 2015. **1**(1): p. 0975-8887.
24. Edouard, M. and D. Njomo, *Mathematical modeling and digital simulation of PV solar panel using MATLAB software*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013. **3**(9): p. 24-32.
25. Khan, J. and M.H. Arsalan, *Solar power technologies for sustainable electricity generation—A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. **55**: p. 414-425.
26. MANSOUR, S., *Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé*. MEMOIRE DE FIN D'ETUDE Pour l'obtention du Diplôme de Master, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, 2014.
27. Hage, M.E.E.H., *Etude de la qualité géomorphologique de modèles numériques de terrain issus de l'imagerie spatiale*. 2012, Conservatoire national des arts et metiers-CNAM.
28. Irwan, Y., et al., *Stand-alone photovoltaic (SAPV) system assessment using PVSYST software*. Energy Procedia, 2015. **79**: p. 596-603.
29. Kandasamy, C., P. Prabu, and K. Niruba. *Solar potential assessment using PVSYST software*. in *2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE)*. 2013. IEEE.
30. BELHADJ, N. and A. ABBAD, *La sécurité de l'Internet des Objets (IoT)*. 2022, Université Ibn Khaldoun Tiaret.
31. ZAATOUT, A., *Intelligent Management of a Hydroponic Greenhouse Powered by a PV System Using Internet of Things and Artificial Intelligence*. 2023, Ibn Khaldoun University.
32. Nacira, O., *La conception d'un système intelligent pour anticiper et prédire les maladies des plantes dans une serre aquaponie alimentée par un système photovoltaïque (PV)*. 2024, université ibn khaldoun-tiaret.
33. Badjadi, M.E. and Y. Ghilani, *Réalisation d'un système de contrôle pour la sécurité d'une maison intelligente*. Université Kasdi Merbah Ouargla.