

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Electrotechnique**
Spécialité : **Énergies Renouvelables**

Présenté par
Samir IGEUR
Sid-ali SEGUEL

Thème

Étude et dimensionnement d'une maison autonome alimentée par une source d'énergie solaire

Mémoire soutenu publiquement le 05/10/ 2024 devant le jury composé de :

M Chafik BIROUCHE

MAA, UMMTO, Président

M Hakim DJOUDI

MAA, UMMTO, Encadreur

M Khoudir MAROUANI

MAB, UMMTO, Examineur

2023/2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à M. Djoudi Hakim, notre encadreur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO), pour son orientation, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de ce projet.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail et de nous avoir soutenus avec leurs remarques constructives.

Enfin, nos remerciements vont à nos familles pour leur soutien inconditionnel, ainsi qu'à nos ami(e)s et collègues, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à:

- ❖ Mes chers parents,
- ❖ Mes deux frères Boussad et Massinissa,
- ❖ Mes deux grandes familles paternelle et
maternelle,
- ❖ Mon binôme Samir,
- ❖ Tous mes amis : Amine, Oussama, Ghani,
Lyes, Samir, Yani, Yidir, Ali et à tous ceux qui
me sont chers.
- ❖ Ma copine B.A

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à:

- ❖ Mes chers parents,
- ❖ Mes frères et sœurs,
- ❖ Mes deux grandes familles paternelle et maternelle,
- ❖ Mon binôme Sid-ali,
- ❖ Tous mes amis : Amine, Oussama, Nacer, Mohand, Ahcen, Ghiles et à tous ceux qui me sont chers.

I. Samir

Nomenclature

PV : Photovoltaïque.

Si : Silicium.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPPT : Maximum power point tracker / régulateur a recherche de point de puissance maximum

FF : Facteur de Forme.

CC : Courant Continu.

CA : Courant Alternatif.

STC : Standard Test Conditions.

α : L'angle d'incidence.

Υ : Azimut.

Pb : Plomb

PbO₂ : Oxyde de plomb

Cos ϕ : Facteur de puissance

Ev : Electron volt

WH : Watt heure

WH/Jour : Watt heure par jour

Wc : Watt crête

Ah : Ampère heure

ρ : La résistivité

Listes des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Les différents types des énergies renouvelables

Figure I.2 : Panneaux solaires

Figure I.3: une cellule photovoltaïque

Figure I.4: Type de panneaux solaires photovoltaïques

Figure I.5 : le principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Figure I.6 : schéma équivalent de cellule PV

Figure I.7 :

A : Caractéristique $I(v)$ d'un groupement des cellules en série.

B : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série

Figure I.8 : Caractéristique courant tension de N_p cellule en parallèle et son schéma.

Figure I.9 : Caractéristique courant tension des cellules solaires en série et parallèle

Figure I.10 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque.

Figure I.11 : Différentes zones de la caractéristique $I = f(V)$, $T = 25^\circ\text{C}$.

Figure I.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique $I(V)$

Figure I.13 : Effet de la température sur le rendement

Figure I.14: Constituants d'un système photovoltaïque raccordé réseau

Figure I.15: Constituants d'un système photovoltaïque autonome sans stockage

Figure I.16 : Constituants d'un système photovoltaïque autonome avec stockage

Figure I.17: Constituants d'un système photovoltaïque hybride

Chapitre II

Figure II.1 : système photovoltaïque

Figure II.2 : Panneau solaire poly ts280p60 280 WC

Listes des figures et tableaux

Figure II.3 : Batterie solaire de 150 Ah/12V

Figure II.4 : Onduleur solaire de Charge 3000W

Figure II.5 : Régulateur de charge

Figure II.6 : Inclinaison et orientation d'un panneau solaire

Figure II.7 : Câbles solaire

Figure II.8 : Désignation du projet dans PVSYST

Figure II.9 : l'interface de logiciel PVsyst

Figure II.10 : localisation géographique

Chapitre III

Figure III.1: Plan de la maison

Figure III.2 : Position de la maison

Figure III.3: Caractéristiques techniques du panneau photovoltaïque à utiliser.

Figure III.4 : le schéma de l'installation PV GLOBALE (SÉRIE-PARALLÈLE)

Figure III.5 : choix de l'installation PV sur PVSYST

Figure III.6 : localisation et coordonnées géographiques de site choisi

Figure III.7. Données météorologiques du site

Figure III.8 : Trajectoire du soleil

Figure III.9 : Orientation des modules PV

Figure III.10 : schéma d'une installation PV sur un site isolé

Figure III.11 : les besoins électriques

Figure III.12 : Choix des batteries

Figure III.13 : choix des onduleurs et modules

Figure III.14 : Rapport de simulation

Figure III.15 : Production normalisée (en kwp installée) pendant l'année

Figure III.16 : indice de performance et la fraction solaire pendant l'année

Figure III.17 : Diagramme de puissance et perte

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Rendement des cellules

Chapitre II

Tableau II.1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle

Tableau II.2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête

Chapitre III

Tableau III.1 : Estimation des besoins électriques journaliers

Tableau III.2 : Répartition de la consommation électrique et besoin énergétique

Tableau III.3: Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant

Tableau III.4 : Résultats du dimensionnement système

Tableau III.5 : Bilan et résultat principaux

Résumé

L'utilisation des énergies renouvelables s'est considérablement développée ces dernières années, offrant des alternatives efficaces aux systèmes à combustibles fossiles. Parmi ces technologies, le système photovoltaïque se distingue par sa capacité à convertir directement l'énergie solaire en électricité.

L'objectif de ce travail est de présenter les composants d'un système photovoltaïque et d'en analyser le dimensionnement à l'aide de méthodes analytiques, comparées à des simulations réalisées avec le logiciel PVsyst. Cette étude permet de proposer une installation optimisée pour répondre aux besoins énergétiques d'une habitation autonome, tout en tenant compte des spécificités du site et des contraintes techniques.

Mots clés

Énergie renouvelable, technologie, système photovoltaïque, système autonome, site isolé, PVsyst.

Summary

The use of renewable energy has grown significantly in recent years, providing efficient alternatives to fossil fuel systems. Among these technologies, the photovoltaic system stands out for its ability to directly convert solar energy into electricity.

The objective of this work is to present the components of a photovoltaic system and to analyze their sizing using analytical methods, compared to simulations carried out with the PVsyst software. This study proposes an optimized installation to meet the energy needs of an independent home, while taking into account the specificities of the site and technical constraints.

Keywords

Renewable energy, technology, photovoltaic system, autonomous system, isolated site, PVsyst.

Sommaire :

• Remerciements.....	
• Dédicace	
• Nomenclature	
• Listes des figures	
• Liste des tableaux.....	
• Résumé	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction	2
I.2. Énergies renouvelables	2
I.2.1. Définition	2
I.2.2. Les différents types des énergies renouvelables	2
I.3. Énergie solaire	3
I.3.1. L'exploitation de l'énergie solaire	4
I.4. Cellules photovoltaïques	6
I.4.1. Définition	6
I.4.2. Historique	6
I.4.3. Le matériau de base de la cellule photovoltaïque	7
I.4.3.1. Les cellules monocristallines	7
I.4.3.2. Les cellules polycristallines	7
I.4.3.3. Les cellules amorphes	7
I.4.4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	8
I.4.5. Modèle d'une cellule solaire	9
I.4.6. Regroupement des cellules	10
I.4.6.1. Regroupement en série	10
I.4.6.2. Regroupement en parallèle	10
I.4.6.3. Regroupement (série et parallèle)	11
I.4.7. Caractéristique Courant-Tension	11
I.4.8. Zone de fonctionnement du module PV	12
I.5. Paramètres influant sur la caractéristique $I = f(V)$	12
I.5.1. Effet de l'illumination	13

Sommaire :

I.5.2. Influence de la température sur le rendement des cellules	13
I.6. Les systèmes photovoltaïques	14
I.6.1. Système PV connecté au réseau de distribution électrique	14
I.6.2. Système photovoltaïque autonome	15
I.6.2.1. Système autonome sans batterie	15
I.6.2.2. Système autonome avec batterie	16
I.6.3. Système photovoltaïque hybride	16
I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire	17
I.7.1. Avantages	17
I.7.2. Inconvénients	17
I.8. Conclusion	18

Chapitre II : Méthodes de dimensionnement d'une maison autonome équipée d'un système PV

II.1. Introduction	19
II.2. Composition d'un système PV	19
II.2.1. Panneaux photovoltaïques	19
II.2.2. Batteries	20
II.2.3. Onduleur	21
II.2.4. Régulateur	21
II.2.5. Accessoires	22
II.3. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque	22
II.3.1. Besoin énergétique	23
II.4. Énergie solaire récupérable	23
II.4.1. Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques	23
II.4.2. Données météorologiques	24
II.5. Dimensionnement du générateur photovoltaïque	25
II.5.1. Puissance crête d'un générateur photovoltaïque	25
II.5.2. Estimation de l'énergie produite par un module	26
II.5.3. Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser	26
II.6. Dimensionnement de l'onduleur	27
II.7. Dimensionnement du régulateur de charge	28

Sommaire :

II.8. Dimensionnement des batteries de stockage	29
II.8.1. Le choix de la tension de la batterie	29
II.8.2. Dimensionnement du parc de batteries	30
II.9. Le dimensionnement des câbles électriques solaires	31
II.10. Présentation des logiciels PVsyst	32
II.10.1. Définition	32
II.10.2. Avantages de PVsyst	33
II.10.3. Fonctionnement	33
II.10.4. Méthode générale d'utilisation de PVsyst	34
II.11. Conclusion	37

Chapitre III : Dimensionnement et simulation d'une maison autonome

III.1. Introduction	38
III.2. Type d'installation	38
III.3. Présentation de la maison	38
III.3.1. Architecture	38
III.3.2. Position géographique	39
III.3.3. Localisation du site	39
III.3.4. Données météorologiques	40
III.3.5. Consommation énergétique totale	40
III.3.6. Répartition de la consommation d'électricité au sein du foyer	42
III.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque	42
III.4.1. Choix du panneau solaire à utiliser	42
III.4.2. Calcul du nombre de panneaux à utiliser	43
III.4.2.1. En série	43
III.4.2.2. En parallèle	43
III.5. Dimensionnement des batteries	44
III.5.1. Nombre de batteries en série	44
III.5.2. Nombre de batteries en parallèle	44
III.6. Choix du régulateur de charge	45
III.7. Choix de l'onduleur	45
III.8. Choix des câbles	45

Sommaire :

III.8.1. Calcul de la section de câble à utiliser pour l'installation.....	46
III.9. Dimensionnement de l'installation PV par logiciel PVsyst.....	48
III.9.1. Choix d'une installation photovoltaïque.....	48
III.9.2. Localisation du site et coordonnées géographiques.....	48
III.9.3. Données météorologiques du site.....	49
III.9.4. Trajectoire du soleil.....	50
III.9.5. Orientation des modules PV.....	50
III.9.6. Schéma de l'installation PV.....	51
III.9.7. Résultats de simulation.....	51
III.9.7.1. Besoins électriques.....	51
III.9.8. Simulation des équipements énergétiques.....	52
III.9.8.1. Batteries.....	52
III.9.8.2. Modules et onduleurs.....	52
III.9.9. Rapport de simulation.....	53
III.10. Comparaison entre les calculs analytiques et la simulation du logiciel PVsyst.....	56
III.11. Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	58
Bibliographie	

INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

Pendant des siècles, l'humanité a utilisé les ressources énergétiques de la Terre, principalement des combustibles fossiles comme le pétrole, le gaz naturel et l'uranium. Cependant, cette utilisation a des effets négatifs sur l'environnement, comme le changement climatique et la dégradation des écosystèmes. Face à ces problèmes, il est devenu urgent de passer à des énergies renouvelables. Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, éolienne, hydraulique et la biomasse, sont une alternative durable car elles ne polluent pas et sont disponibles sur le long terme. [28]

Parmi elles, l'énergie solaire est particulièrement prometteuse. Elle utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité, offrant une solution respectueuse de l'environnement et pouvant être utilisée localement. Les systèmes photovoltaïques, qui transforment directement la lumière du soleil en électricité, jouent un rôle clé dans cette révolution énergétique. Ils peuvent alimenter des installations isolées ou des réseaux électriques, aidant ainsi à diversifier nos sources d'énergie. [29]

Dans ce cadre, nous allons effectuer le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour répondre aux besoins énergétiques d'une maison située à Berkouka, Maatkas, dans la région de Tizi-Ouzou.

Le premier chapitre de ce travail portera sur une exploration des énergies renouvelables, avec un accent particulier sur l'énergie solaire. Nous aborderons les différents types de cellules photovoltaïques, leurs principes de fonctionnement et les paramètres influençant leur efficacité. Enfin, nous examinerons les systèmes photovoltaïques et leur rôle dans la production d'électricité durable.

Le deuxième chapitre se concentrera sur les composants essentiels d'un système photovoltaïque, tels que les panneaux solaires, les batteries, les onduleurs et les régulateurs. Nous discuterons également des méthodes de dimensionnement nécessaires pour garantir une production d'énergie optimale, en prenant en compte les besoins spécifiques des utilisateurs. Le logiciel PVsyst sera utilisé pour simuler et optimiser la conception de ces installations.

Enfin, le troisième chapitre traitera des calculs analytiques pour le dimensionnement de l'installation photovoltaïque de la maison autonome. Nous validerons ces résultats à l'aide de simulations réalisées avec le logiciel PVsyst et comparerons les résultats théoriques aux simulations pour assurer la fiabilité du système proposé.

CHAPITRE I

I.1.Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui, la question de l'énergie devient de plus en plus importante. Passer à des sources d'énergie durables est au centre des préoccupations politiques et environnementales. Même si nous avons longtemps dépendu des énergies fossiles, ces dernières représentent des dangers sérieux pour notre environnement et notre santé. La demande d'énergie continue d'augmenter, tout comme les effets négatifs des combustibles fossiles sur la planète. Cela montre qu'il est essentiel de diversifier nos sources d'énergie.

Les énergies renouvelables, qui utilisent des ressources naturelles comme le soleil, le vent et l'eau, offrent une solution prometteuse. Parmi elles, l'énergie solaire est particulièrement intéressante en raison de son grand potentiel. Elle peut fournir une énergie propre et accessible. La technologie photovoltaïque, qui transforme la lumière du soleil en électricité, évolue rapidement et joue un rôle important dans la stratégie énergétique mondiale. [1]

Ce chapitre explore les défis et les opportunités que représente l'énergie solaire dans le contexte des énergies renouvelables. Nous commencerons par examiner les énergies renouvelables dans leur ensemble, avant de nous concentrer sur l'énergie solaire. Nous préciserons les différents types de cellules photovoltaïques et aborderons les caractéristiques des modules photovoltaïques ainsi que les paramètres influençant ces caractéristiques. Enfin, nous discuterons des systèmes photovoltaïques dans leur ensemble, soulignant leur importance dans la production d'électricité durable et leur contribution au mix énergétique global.

I.2. Energies renouvelables

I.2.1. Définition

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui se reconstituent naturellement assez vite pour qu'on les considère comme inépuisables à l'échelle humaine. Elles viennent de phénomènes naturels comme la lumière du soleil, le vent, les mouvements de l'eau et la biomasse. Contrairement aux énergies fossiles, qui sont limitées et dont l'utilisation produit des gaz à effet de serre et d'autres effets négatifs sur l'environnement, les énergies renouvelables sont plus respectueuses de la planète. [2]

I.2.2. Les différents types des énergies renouvelables

- **L'énergie éolienne** : Utilise la force du vent pour produire de l'électricité à l'aide de turbines.

- **L'énergie géothermique** : Exploite la chaleur interne de la Terre pour générer de l'électricité ou pour le chauffage direct.
- **La biomasse** : Tire son énergie de la matière organique, comme les déchets agricoles, les résidus forestiers, ou les algues, pour produire de la chaleur, de l'électricité, ou des biocarburants.
- **L'énergie hydraulique** : Utilise le mouvement de l'eau, généralement à travers des barrages, pour générer de l'électricité.
- **L'énergie solaire** : Utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité ou de la chaleur

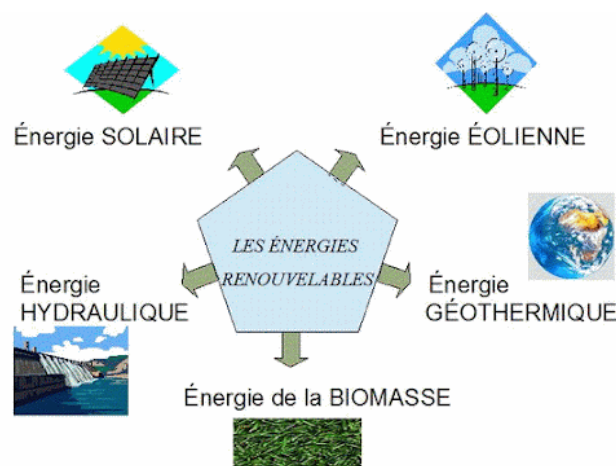


Figure I.1 : Les différents types des énergies renouvelables.

Bien que ces sources d'énergie soient souvent qualifiées de « vertes » ou « propres », il est important de noter qu'elles peuvent également avoir des impacts environnementaux, même si ces impacts sont généralement moindres comparés aux énergies fossiles.

Nous allons nous concentrer davantage sur l'énergie solaire, une solution particulièrement prometteuse pour la transition énergétique.

I.3. Energie solaire

Le soleil produit une immense quantité d'énergie, environ $3,9 \times 10^{26}$ watts, grâce aux réactions nucléaires qui se passent en son cœur. Seulement 20 % de cette énergie atteint la Terre, soit environ 63 500 kW par mètre carré. Cette énergie peut être utilisée de différentes façons. Par

exemple, le rayonnement solaire peut servir directement à chauffer de l'eau, des bâtiments, ou à faire fonctionner des machines qui produisent de l'électricité. C'est ce qu'on appelle l'énergie solaire thermique. La lumière du soleil peut aussi être convertie en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Chaque année, l'énergie solaire qui atteint la Terre est d'environ 1 540 péta kWh, soit 15 000 fois plus que la consommation mondiale d'électricité. Cependant, la quantité d'énergie que nous pouvons convertir dépend de la quantité de soleil que reçoit un endroit et de l'efficacité des panneaux photovoltaïques ou des systèmes thermo-solaires qui captent et transforment cette énergie en électricité.



Figure I.2 : Panneaux solaires.

I.3.1. L'exploitation de l'énergie solaire

Trois familles de procédés de transformation de l'énergie solaire se distinguent aujourd'hui. [4]

❖ . L'énergie solaire thermique

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

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

De fait, elle est utilisée principalement pour le chauffage de l'eau ou des locaux. On utilise pour cela des capteurs thermiques. Il en existe plusieurs catégories mais le principe est toujours le

même : le capteur thermique absorbe les photons solaires et les transforme en chaleur. Celle-ci est ensuite transmise à un liquide ou à un gaz (dit « caloporteur ») qui la transporte vers un réservoir de stockage de chaleur.

❖ L'énergie solaire thermodynamique (CSP)

L'énergie thermique du soleil permet également de produire de l'électricité par voie thermodynamique. Le principe est identique à celui d'une centrale électrique classique : la production de vapeur ou de gaz à haute pression est turbinée pour être ensuite transformée en électricité. Ce processus nécessite des températures importantes (de 250°C à plus de 1 000°C) que l'on atteint en concentrant la lumière solaire avec des miroirs vers un fluide caloporteur.

❖ L'énergie solaire photovoltaïque (PV)

L'énergie solaire PV fait référence à la conversion directe de l'énergie solaire en électricité, un phénomène découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Cette technique repose sur des cellules photovoltaïques, qui transforment une partie du rayonnement solaire en électricité grâce à des matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, fabriqués à partir de matières premières de haute pureté. Bien que l'énergie solaire photovoltaïque représente actuellement une part modeste de la production mondiale d'électricité—environ 2 % en 2017 selon l'AIE—elle est perçue comme ayant un avenir prometteur. Cette perspective est alimentée par des avancées technologiques, une réduction des coûts, et une grande adaptabilité. Le solaire photovoltaïque peut fonctionner de manière autonome ou être connecté à un réseau, satisfaisant ainsi les besoins énergétiques d'une maison équipée de panneaux sur le toit ou d'une installation industrielle. Les premières applications de cette technologie ont émergé dans le secteur spatial, notamment pour alimenter des satellites. Depuis, d'autres domaines ont également bénéficié de cette innovation, tels que les télécommunications, le balisage maritime et aérien, l'éclairage domestique et le pompage d'eau. Cependant, étant donné que l'ensoleillement n'est pas constant, l'utilisation de batteries ou d'autres systèmes de stockage est nécessaire pour assurer une disponibilité d'électricité en dehors des périodes d'ensoleillement

Ainsi, pour mieux comprendre les performances de l'énergie solaire photovoltaïque, il est crucial d'explorer en profondeur les cellules photovoltaïques elles-mêmes, qui constituent les éléments fondamentaux de cette technologie.

I.4. Cellules photovoltaïques

I.4.1 Définition

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique semi-conducteur qui convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique. Lorsque la lumière solaire frappe la cellule, elle excite les électrons du matériau semi-conducteur, créant ainsi des paires électron-cellule trou. Sous l'effet du champ électrique interne de la cellule, ces électrons et trous sont séparés et circulent vers des contacts électriques, générant ainsi un courant électrique continu. [5]

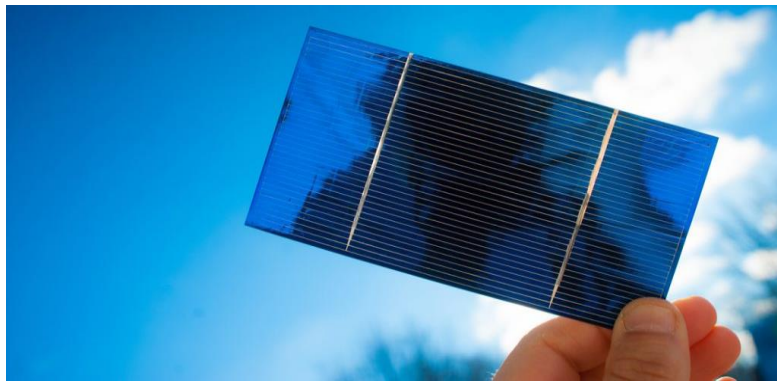


Figure (I-3): une cellule photovoltaïque.

I.4.2. Historique [6]

Voici quelques dates marquantes de l'histoire du photovoltaïque :

- **1839** : Edmond Becquerel, un physicien français, découvre le phénomène de conversion de la lumière du soleil en électricité dans un matériau solide, connu sous le nom d'effet photovoltaïque.
- **1875** : Werner von Siemens présente un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs à l'Académie des Sciences de Berlin. Cependant, ce phénomène reste une curiosité de laboratoire jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.
- **1954** : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, développent une cellule photovoltaïque à haut rendement, coïncidant avec la recherche de nouvelles solutions pour alimenter les satellites par l'industrie spatiale naissante.
- **1958** : Une cellule photovoltaïque avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont lancés dans l'espace.
- **1973** : L'Université du Delaware construit la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques.

- **1983** : La première voiture fonctionnant à l'énergie photovoltaïque parcourt 4000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque, ou photopile, a été développée en 1954 aux États-Unis par des chercheurs des laboratoires Bell. Ils ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être améliorée en y ajoutant des "impuretés", une technique appelée "dopage", utilisée pour tous les semi-conducteurs. Bien que les scientifiques aient montré un grand intérêt pour cette technologie au fil des années, ce n'est que lors de la course à l'espace que les cellules photovoltaïques ont été utilisées en dehors des laboratoires. Les photopiles se sont avérées être la solution idéale pour fournir de l'électricité aux satellites et autres sites isolés.

I.4.3. Le matériau de base de la cellule photovoltaïque. [7]

I.4.3.1. Les cellules monocristallines :

Les cellules monocristallines sont des dispositifs photovoltaïques en silicium cristallin homogène, offrant une conduction d'électrons efficace. Leur rendement commercial est généralement de 12 à 16 %, et peut atteindre jusqu'à 23 % en laboratoire.

I.4.3.2. Les cellules poly-cristallines :

Moins chères à produire, rendement légèrement inférieur (15-20%), populaires pour installations solaires pour leur coût-efficacité.

I.4.3.3. Les amorphes cellules :

Utilisent du silicium non cristallin, moins efficaces que les cristallines (5-9% de rendement), mais flexibles et adaptées à diverses applications solaires pour leur légèreté et coût réduit.

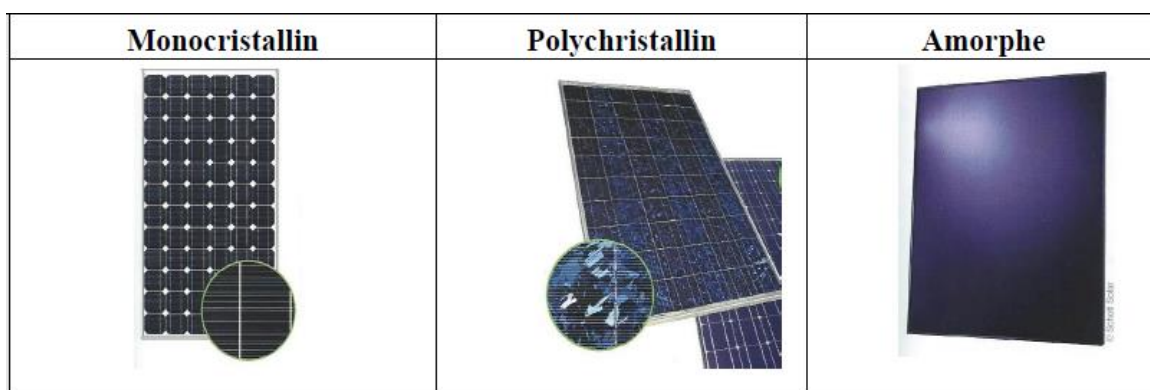


Figure (I-4): Type de panneaux solaires photovoltaïques.

Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements. [5]

Technologies de cellules	Rendement en	Rendement production
Silicium amorphe	13%	5-9%
Silicium poly cristallin	19,8%	11 à 15 %
Silicium monocristallin	24,7%	14 à 20%

Tableau I.1 : Rendement des cellules.

I.4.4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons de la lumière, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteurs comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner. [8]

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Les électrons sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche anti-reflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface.

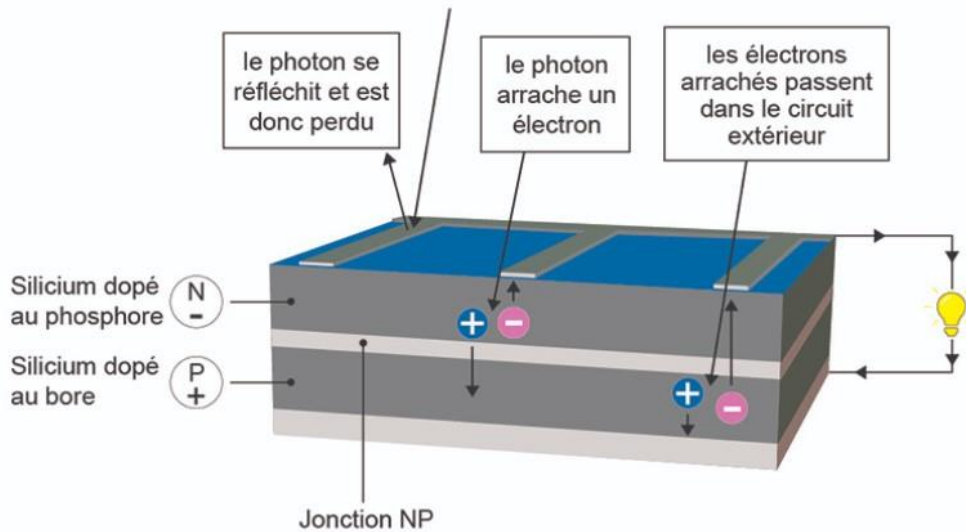


Figure (I-5): le principe de fonctionnement d'une cellule solaire.

I.4.5. Modèle d'une cellule solaire :

Une cellule photovoltaïque est souvent décrite comme un générateur de courant électrique équivalant à une source de courant shuntée par une diode. Pour représenter les phénomènes physiques au sein de la cellule, le modèle inclut également deux résistances : une résistance en série R_s et une résistance parallèle R_p (ou R_{sh} , résistance de fuite), comme illustré dans le schéma équivalent ci-dessous :

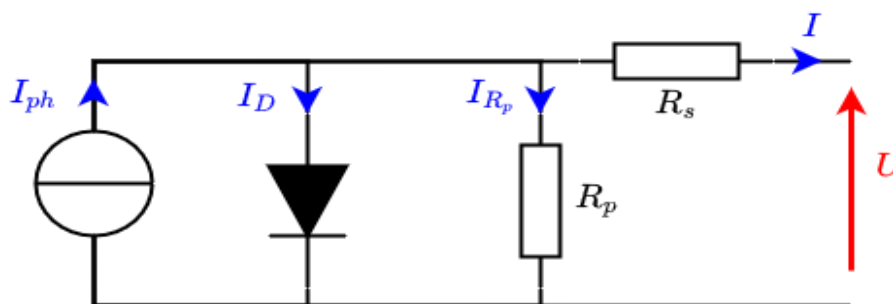


Figure (I-6) : schéma équivalent de cellule PV.

I.4.6. Regroupement des cellules

I.4.6.1. Regroupement en série :

Les cellules photovoltaïques peuvent se connecter en série. Les tensions de toutes les cellules s'ajoutent et le courant est le même que celui d'une seule cellule. [09] comme montre la figure (I.7).

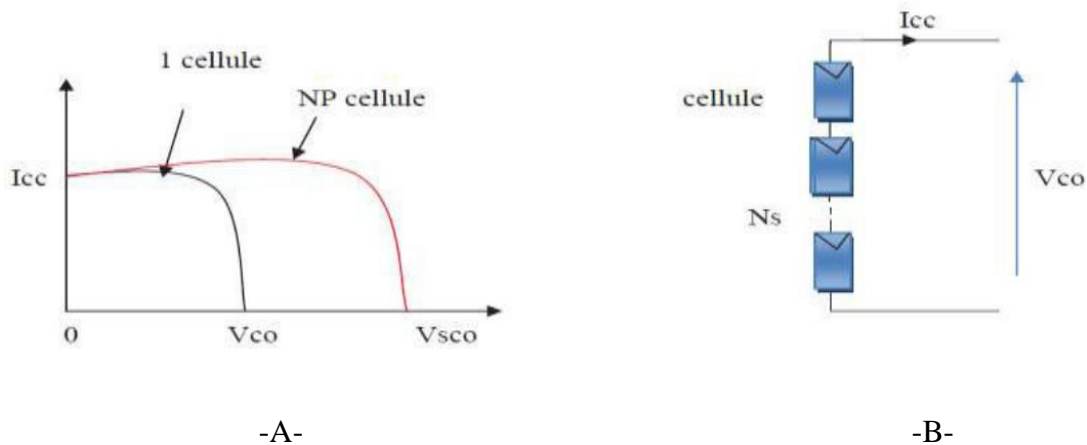


Figure I-7 :

A : Caractéristique $I (v)$ d'un groupement des cellules en série.

B : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série.

I.4.6.2. Regroupement en parallèle

Lorsque les cellules sont connectées en parallèles, ce sont les courants qui s'ajoutent et la tension qui restera constante. [09]

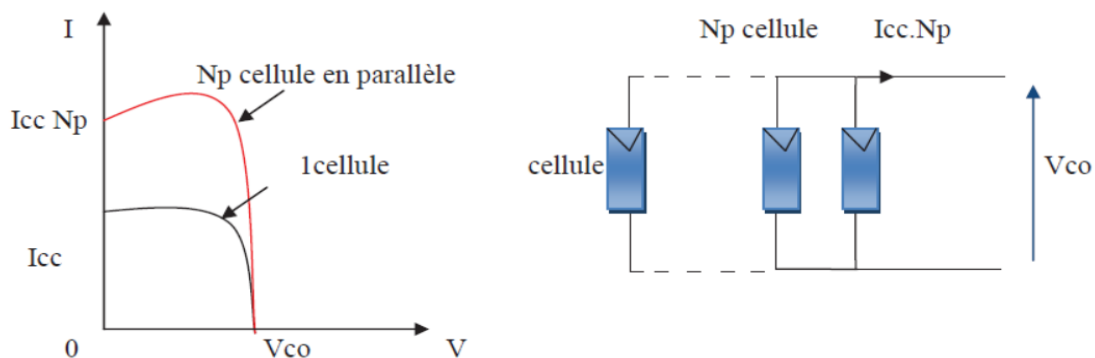


Figure I.8 : Caractéristique courant tension de N_p cellule en parallèle et son schéma.

I.4.6.3. Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous (figure I.9), ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. [10]

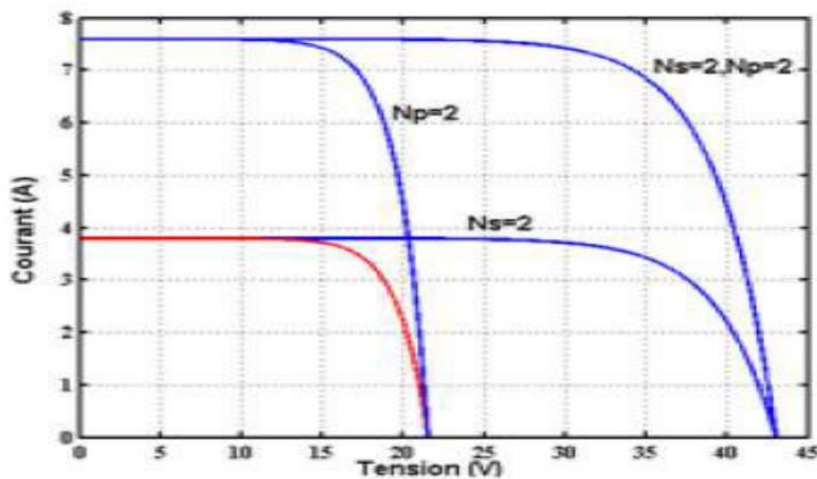


Figure I.9 : Caractéristique courant tension des cellules solaires en série et parallèle. [10]

I.4.7. Caractéristique Courant-Tension

La figure I.10 représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C . [10]

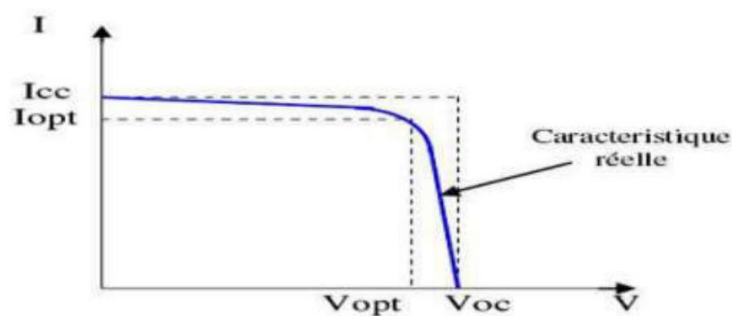


Figure I.10 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque. [10]

I.4.8. Zone de fonctionnement du module PV

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque, pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seule la courbe I-V est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. [10]

La figure 1.11 représente trois zones essentielles :

- La zone (I) : fonctionnement comme générateur de courant.
- La zone (II) : fonctionnement optimal: quand le point de fonctionnement appartient la zone (II) l'utilisation est meilleure, la puissance absorbée est maximisée.
- La zone (III) fonctionnement comme générateur de tension : la tension est proche de la tension à vide V_{oc} et le courant est faible.

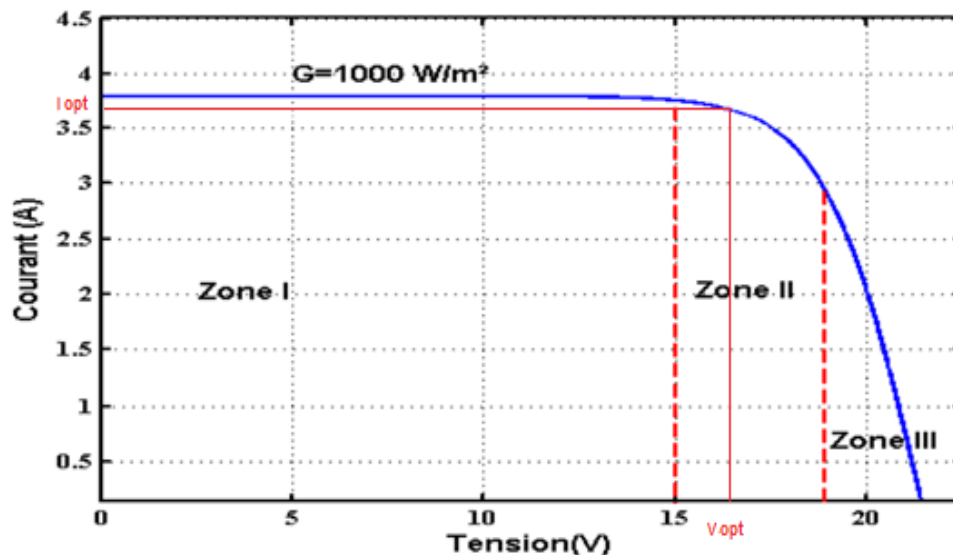


Figure I.11 : Différentes zones de la caractéristique $I=f(V)$, $T = 25^\circ\text{C}$. [10]

I.5. Paramètres influant sur la caractéristique $I = f(V)$:

Le comportement électrique d'une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement et de la température.

I.5.1. Effet de l'illumination :

Une diminution de l'ensoleillement réduit la génération de paires électron-trou, sans affecter le courant en obscurité. Le courant produit par le panneau solaire, étant la différence entre le photo-courant et le courant de diode en obscurité, diminue proportionnellement à la réduction de l'ensoleillement. Cela entraîne une baisse du courant solaire I_{cc} , accompagnée d'une légère diminution de la tension V_{co} , déplaçant ainsi le point P_{max} du panneau solaire vers des puissances inférieures. (Figure II-3)

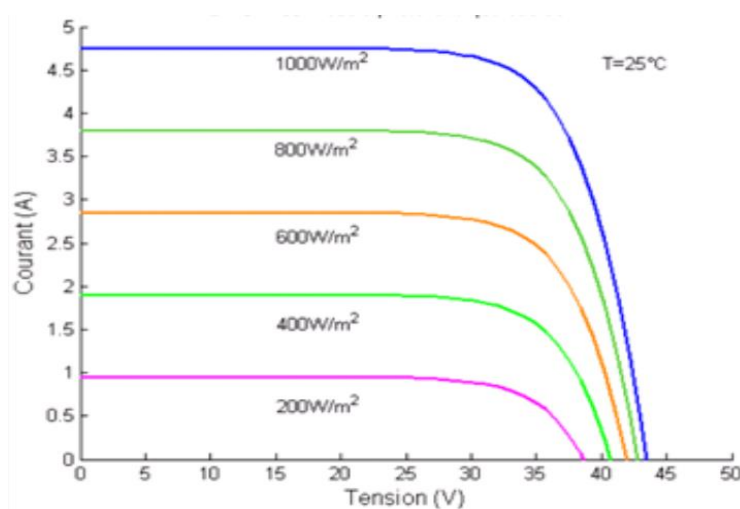


Figure I.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique $I(V)$ [11]

I.5.2. Influence de la température sur le rendement des cellules :

Le rendement d'une cellule solaire dépend de l'éclairement et, de manière significative, de la température. La température est un paramètre crucial car les cellules sont exposées au rayonnement solaire, ce qui peut les réchauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique et se dissipe sous forme de chaleur. Ainsi, la température d'une cellule est toujours plus élevée que la température ambiante. Pour estimer la température de la

cellule T_c à partir de la température ambiante T_a [11], on peut utiliser la formule de correction suivante :

$$T_c = T_a + \frac{Em}{800}(TUC - 20)$$

I-1

Avec :

Em : Eclairement moyen (en W/m^2).

TUC : Température d'utilisation de cellule ($^{\circ}C$).

La figure suivante (Figure I.14) permet de visualiser l'influence de la valeur de la Température sur le courant et la puissance

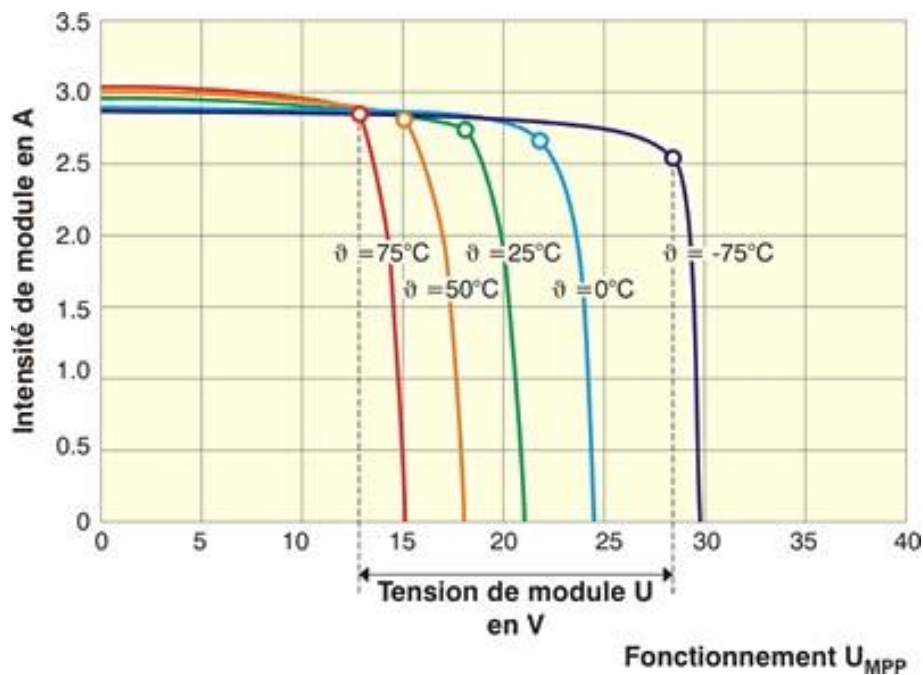


Figure I.13 : Effet de la température sur le rendement. [12]

I.6. Les systèmes Photovoltaïques

Malgré la diversité des systèmes photovoltaïques, ils peuvent être regroupés en six catégories distinctes. Les trois premières catégories sont composées de systèmes autonomes, indépendants du réseau électrique. Les trois autres catégories concernent des systèmes photovoltaïques connectés de différentes manières au réseau électrique.

I.6.1. Système PV connecté au réseau de distribution électrique :

Ce système implique de connecter les panneaux solaires au réseau. L'électricité excédentaire produite va verser au réseau qui permettant de réserver les crues de l'électricité déposées pendant la journée pour l'utiliser dans la nuit. Le courant continu provenant des panneaux transformé en courant alternatif qui sera ensuite élevée en 220KV ou 400KV par un poste de transformation pourrait être transportée plus facilement dans les lignes de très haute tension du réseau, régulièrement les opérations de contrôle et de maintenance qui se réalisent pour s'assurer du bon fonctionnement de l'installation. [13]

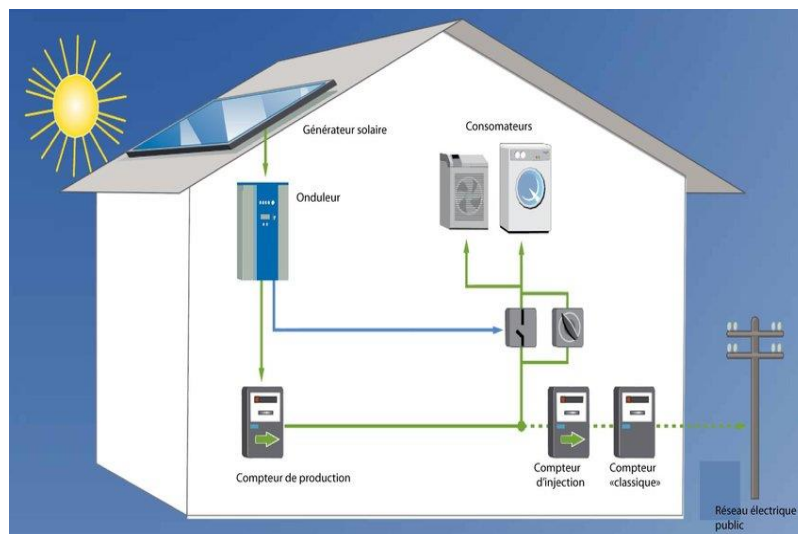


Figure I.14 : Constituants d'un système photovoltaïque raccordé réseau.

I.6.2. Système photovoltaïque autonome :

I.6.2.1. Système autonome sans batterie :

Ce système n'a pas besoin de stocker l'électricité, soit parce que la production des cellules est adéquate même en cas de faible luminosité (par exemple, les calculatrices), soit parce que la durée de fonctionnement de la charge n'est pas essentielle (par exemple, les pompes à eau utilisant un réservoir d'eau comme stockage).

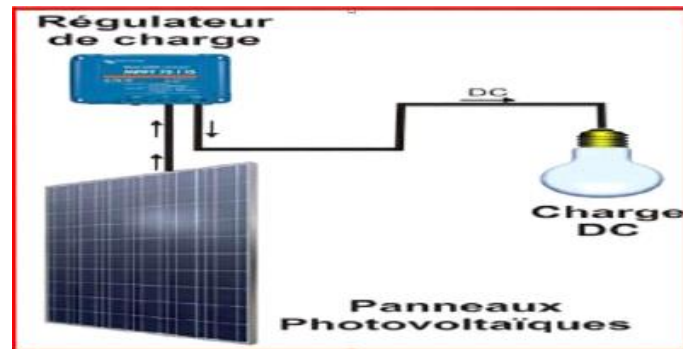


Figure I.15 : Constituants d'un système photovoltaïque autonome sans stockage.

I.6.2.2. Système autonome avec batterie :

Ce système photovoltaïque est largement répandu. Les panneaux solaires agissent comme des chargeurs pour la batterie, permettant ainsi une utilisation continue de l'électricité. Par exemple, il convient parfaitement à l'éclairage domestique, assurant une alimentation électrique même après le coucher du soleil.[13]

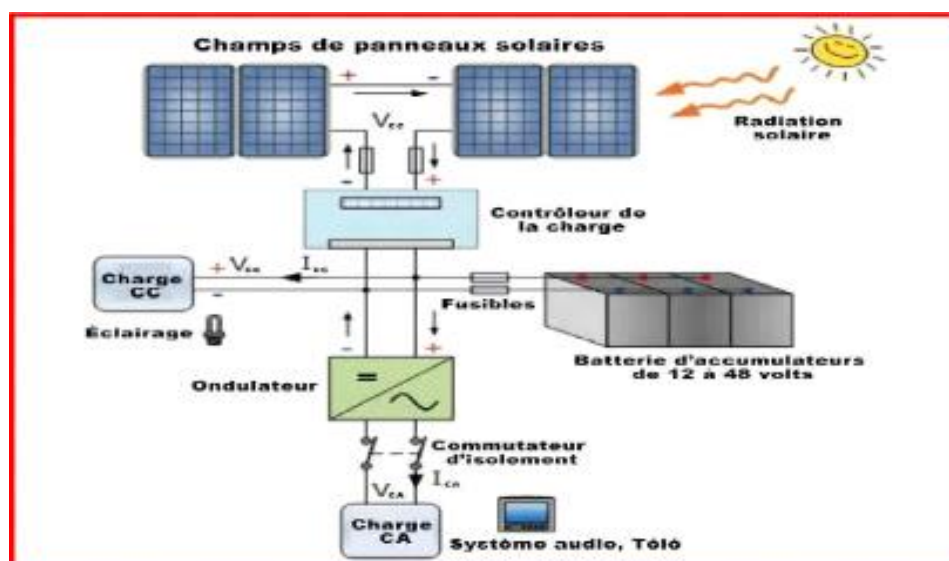


Figure I.16 : Constituants d'un système photovoltaïque autonome avec stockage.

I.6.3. Système photovoltaïque hybride :

Un système photovoltaïque peut être combiné à une autre source de production d'électricité - biomasse, turbine éolienne ou générateur diesel - afin de garantir un approvisionnement constant en électricité. Un système hybride peut être relié au réseau, fonctionner en autonomie ou être soutenu par le réseau. De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie et donc ils permettent en outre de recharger la batterie lorsque elle est faible. Un tel système photovoltaïque hybride fournit une grande fiabilité du système et peut représenter la solution adéquate pour les sites isolés; il convient aussi lorsque la demande en énergie est élevée (pendant l'hiver ou tout au long de l'année).

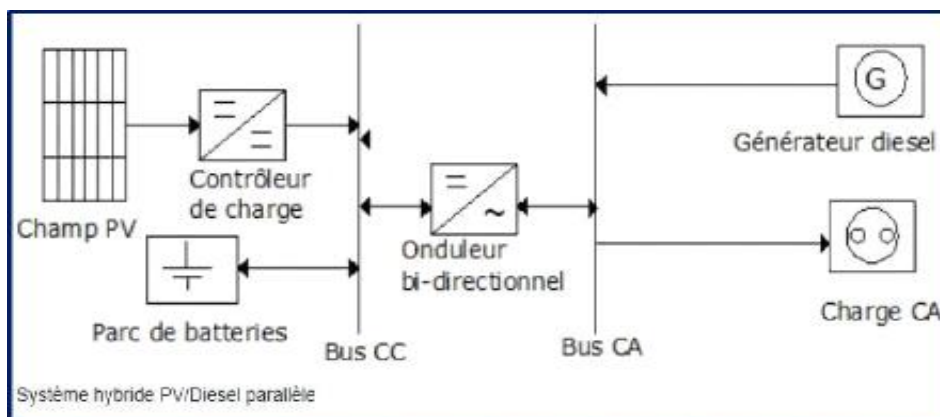


Figure I.17 : Constituants d'un système photovoltaïque hybride.

I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

L'énergie solaire offre de nombreux atouts, mais présente également certains défis.

I.7.1 Avantages

- Énergie renouvelable.
- Réduction des émissions de carbone.
- Impact environnemental faible.
- Coûts en baisse.
- Distribution décentralisée.
- Facilité d'entretien.

I.7.2 Inconvénients

- Variabilité et intermittence.
- Besoin d'espace conséquent.
- Dépendance aux conditions météorologiques.
- Coûts initiaux élevés.
- Nécessité de stockage énergétique.

I.8. Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a permis de définir les différentes formes d'énergies renouvelables de manière globale. Nous avons ensuite étudié en détail les composants d'un système photovoltaïque (PV), tels que les cellules et les modules, ainsi que leurs principales caractéristiques. Nous avons également examiné l'association des cellules et les paramètres influençant les performances des modules photovoltaïques. De plus, nous avons exploré les différents types de systèmes PV, notamment ceux connectés au réseau, hybrides et **autonomes**, ce dernier étant particulièrement étudié dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter la composition d'un système photovoltaïque, en détaillant ses principaux composants après le dimensionnement d'une installation autonome. Nous aborderons ensuite les méthodes de dimensionnement en tenant compte de la transition énergétique vers des sources renouvelables. Les étapes de conception viseront à déterminer la taille optimale du système en fonction de la demande énergétique et des conditions environnementales. Nous introduirons également les équations nécessaires pour le calcul de ces paramètres. Enfin, une attention particulière sera portée au logiciel PVsyst, en expliquant son rôle dans l'analyse et l'optimisation des systèmes photovoltaïques.

II.2. Composition d'un système PV

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

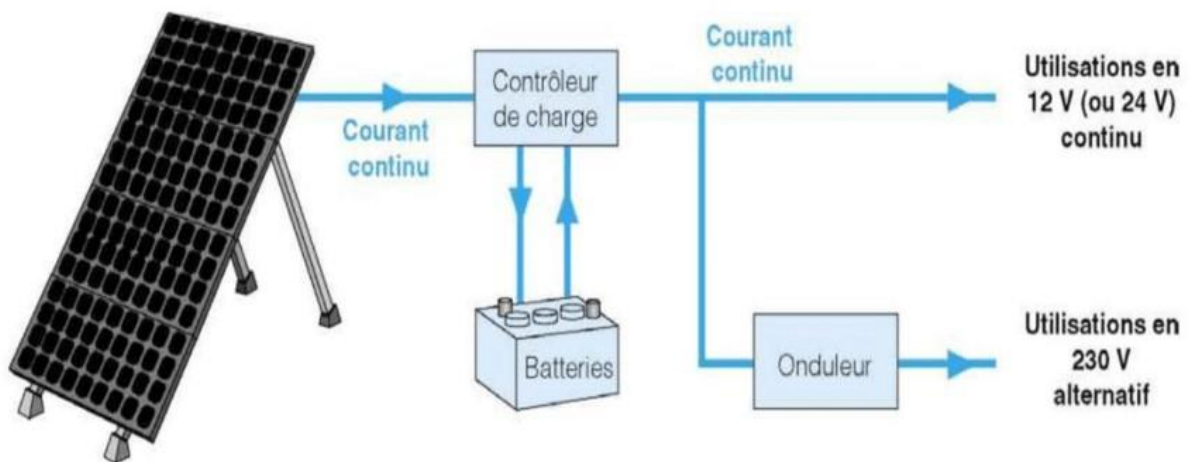


Figure II.1 : système photovoltaïque.

II.2.1. Panneaux photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont constitués de plusieurs cellules (ou photopiles) connectées en série pour atteindre la tension souhaitée (12V, 24V, etc.). La cellule photovoltaïque représente l'unité de base dans la conversion du rayonnement solaire en électricité. Plusieurs

cellules sont regroupées dans un module, qui constitue la plus petite unité capable de générer, démontrer et installer la production d'énergie sur un site.



Figure II.2 : Panneau solaire poly ts280p60 280 WC.

Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins. [14]

II.2.2. Batteries

L'absence de disponibilité continue de l'énergie solaire pendant toute la période de fonctionnement du système rend nécessaire l'utilisation de batteries solaires dans les installations autonomes. Ces batteries, qui sont des dispositifs de stockage d'énergie électrique, permettent d'accumuler l'énergie produite par les panneaux solaires pour la restituer lorsque le soleil n'est pas disponible. [15]



Figure II.3 : Batterie solaire de 150 Ah/12V.

II.2.3. Onduleur

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un onduleur, qui est un dispositif électronique statique de conversion (convertisseur DC/AC), est utilisé. Cet appareil permet de transformer le courant continu produit par les panneaux solaires ou stocké dans les batteries en courant alternatif, nécessaire au fonctionnement de nombreux appareils électriques. [15]



Figure II.4 : Onduleur solaire de Charge 3000W.

II.2.4. Régulateur

C'est un appareil essentiel dans un système photovoltaïque autonome. Il contrôle l'intensité du courant qui passe dans les batteries, empêchant ainsi qu'elles ne se surchargent ou ne se déchargent complètement, ce qui pourrait les endommager. En plus de cela, il permet d'optimiser le transfert d'énergie entre les panneaux solaires et les appareils qui utilisent cette énergie. [15]

En résumé, le régulateur protège les batteries et assure une utilisation efficace de l'énergie solaire produite.



Figure II.5 : Régulateur de charge.

II.2.5. Accessoires

Tels que les câbles qui assurent le raccordement des composants

II.3. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

- **Evaluation du besoin quotidien en énergie** : Déterminer la quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire les besoins du site.
- **Chiffrage du gisement solaire disponible** : Évaluer la quantité d'énergie solaire disponible au site d'implantation pour déterminer si l'installation est techniquement et financièrement viable.
- **Détermination de la puissance crête et de l'adaptation des composants** : Déterminer la puissance crête du champ photovoltaïque à installer et adapter l'onduleur et le régulateur qui convient.
- **Détermination de la capacité des accumulateurs de stockage** : Dans le cas d'une installation autonome, déterminer la capacité des accumulateurs de stockage nécessaires pour stocker l'énergie produite.
- **Détermination des sections et des accessoires des câbles** : Déterminer les sections et les accessoires nécessaires pour les câbles électriques de l'installation.

- **Etablissement du schéma électrique** : Établir un schéma électrique de l'installation pour faciliter sa réparation en cas de pannes et garantir une exploitation sécurisée.

II.3.1. Besoin énergétique

Un système bien adapté nécessite l'évaluation de la puissance électrique des applications à alimenter. L'énergie nécessaire s'exprime par :

$$EC = P * T \quad (2.1)$$

Avec :

EC : Énergie consommée.

P : puissance de fonctionnement de l'appareil.

T : temps d'utilisation.

L'énergie est le résultat du produit de la puissance par le temps. Cette relation permet de déterminer les besoins énergétiques quotidiens. En effet, un système photovoltaïque devant fournir de l'énergie sur une journée entière, il est logique de considérer une période de 24 heures comme unité de temps. L'énergie E_c représente donc l'énergie électrique consommée en 24 heures par l'application, exprimée en Watt-heure par jour (Wh/j), également appelée consommation quotidienne. [18]

II.4. Energie solaire récupérable : [16]

II.4.1 Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques

La première question qui se pose est : comment positionner les panneaux solaires pour capter un maximum de rayonnement solaire et comment estimer l'énergie récupérée ?

Lors de l'installation d'un panneau solaire, il est important de considérer à la fois l'orientation et l'inclinaison (voir figure II-6). L'orientation détermine la direction cardinale vers laquelle le panneau est orienté, par exemple vers le sud, le nord, l'est ou l'ouest, similaire à la façade d'une maison. L'inclinaison fait référence à l'angle entre le panneau et le plan horizontal.

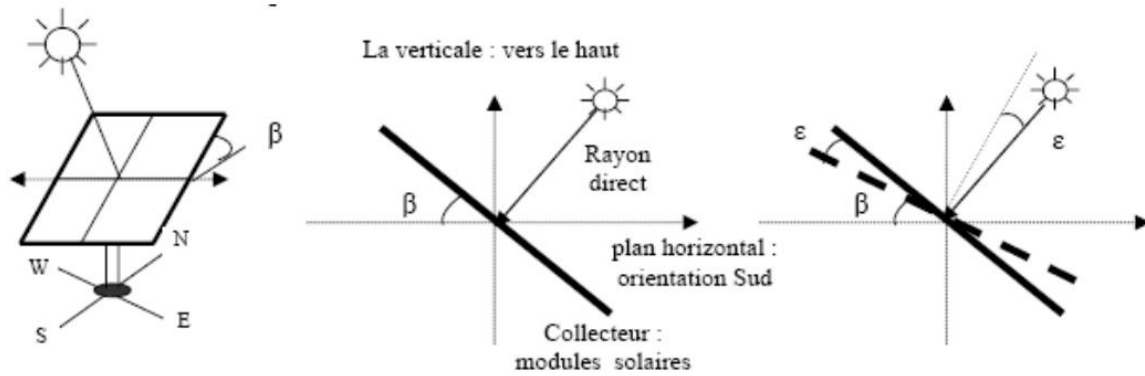


Figure II.6 : Inclinaison et orientation d'un panneau solaire.

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut γ par rapport au sud.

Le tableau (II.1) donne les valeurs de l'inclinaison recommandée des capteurs photovoltaïques pour une utilisation annuelle constante en fonction de la latitude [22]

Latitude φ (°)	Inclinaison β (°)
$\varphi < 10^\circ$	$\beta = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\beta = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\beta = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\beta = \varphi + 15^\circ$

Tableau II.1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.

II.4.2. Données météorologiques

La conception des systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est l'un des paramètres essentiels de l'étude préalable. Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est grande, moins est le nombre de panneaux solaires à installer et inversement. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol. L'influence de l'atmosphère provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident. La modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. Le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de paramètres : Gaz présents dans l'atmosphère, Nuages, Albédo (réflectivité du sol),

Température ambiante, Vent, Humidité relative, etc. Or tous ces paramètres dépendent du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée, des conditions météorologiques du moment. Il est donc important de disposer de données fiables en recourant à des statistiques accumulées sur les années antérieures grâce à un instrument de mesure appelé {héliographe}

Grace à cet instrument de mesure, les stations météorologiques élaborent des statistiques de rayonnement solaire intégré en [KWh/m². J] à partir de toutes les données récoltées. Ce sont ces données, globales sur une journée, qui servent la plupart du temps au dimensionnement d'un système photovoltaïque. [17]

II.5. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir les besoins en électricité.

II.5.1 Puissance crête d'un générateur photovoltaïque : [19]

Lorsque l'on évoque la puissance d'un panneau solaire, on parle de watt-crête ou kilowatt-crête (kWc). La puissance crête correspond à la puissance maximale qu'un panneau solaire peut atteindre à un moment donné. Autrement dit, elle permet de comparer différents capteurs photovoltaïques entre eux : plus la puissance crête est élevée, plus le panneau produit d'électricité. Cette puissance dépend de l'irradiation du site d'installation.

On la calcule en appliquant la formule suivante :

$$Pc = \frac{Ec}{K \times Ir} \quad (2.2)$$

Pc : Puissance crête de champs photovoltaïque en Watt crête (WC)

Ec : Energie consommée par jour (Wh/jour)

Ir: Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

En Algérie : $2 \geq Ir \leq 8$. On prend la moyenne de 5 h/Jour

K : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.

- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

K est en générale compris entre 0,55 et 0,75. La valeur souvent utilisée dans les calculs du Système avec batterie est $k=0,65$. [21]

II.5.2. Estimation de l'énergie produite par un module

Le rayonnement solaire varie au cours de la journée en fonction de l'état du ciel. L'énergie produite par le module sera égale à : [20]

$$Ep = Pcu \cdot \left[\frac{Gmin}{Enom} \right] \cdot K \quad (2.3)$$

Avec :

Ep : Énergie produite par un module pendant une journée [Wh/j].

Pcu : puissance crête unitaire.

$Gmin$: Irradiation moyenne journalière minimale en [Wh/m²].

$Enom$: Éclairement nominal standard égal à 1000W/m².

K : Coefficient correcteur.

II.5.3 Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser :

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de :

❖ **Panneaux solaire nécessaires à l'installation :**

$$Nm = \frac{Pch}{\text{puissance crête unitaire panneau}} \quad (2.4)$$

❖ **Le nombre de modules connectés en série sera égale à :**

$$Ns = \frac{Vch}{Vn} \quad (2.5)$$

Avec :

Pch : Puissance de la charge.

Vch: Tension de la charge.

Vn: La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

❖ **Le nombre de modules connectés en parallèles s'exprime par :**

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (2.6)$$

Avec :

Nm : nombre total de panneaux photovoltaïques

Ns : nombre de panneaux connectés en série.

II.6. Dimensionnement du l'onduleur

Le dimensionnement d'un convertisseur de courant, ou onduleur, se fait en fonction de plusieurs critères essentiels :

- ❖ **La tension d'entrée** : Elle correspond à la tension des batteries ou du régulateur, généralement de 12V, 24V ou 48V en courant continu (DC).
- ❖ **La tension de sortie** : En Algérie, la tension de sortie standard est de 220/230V en courant alternatif (AC) à une fréquence de 50Hz.
- ❖ **La puissance nominale** : Il s'agit de la puissance électrique nécessaire au fonctionnement normal des appareils. Pour la déterminer, il faut additionner la puissance des appareils susceptibles d'être utilisés simultanément. Il est recommandé de choisir un onduleur avec une puissance nominale légèrement supérieure à la somme des puissances des appareils pour assurer un bon fonctionnement.
- ❖ **La puissance maximale** : L'onduleur doit pouvoir fournir une puissance élevée, souvent 2 à 3 fois la puissance nominale, pour les appareils équipés de moteurs (comme les réfrigérateurs, micro-ondes, lave-linge) qui consomment beaucoup plus d'énergie lors du démarrage. Si la puissance nominale est bien dimensionnée, la puissance maximale fournie par l'onduleur devrait suffire.

- ❖ **Le rendement** : Une partie de l'énergie est consommée par l'onduleur lors de la conversion (entre 80% et 95% de l'énergie est restituée). Il est donc important de vérifier le rendement de l'onduleur, avec un bon modèle atteignant environ 90%. De plus, certains onduleurs consomment de l'énergie même en mode veille (stand-by). Les modèles équipés d'un système marche/arrêt automatique permettent de réaliser des économies d'énergie, surtout dans les petites installations photovoltaïques

Pour assurer un bon dimensionnement de l'onduleur, on doit tenir compte de la tension et de la puissance crête du champ photovoltaïque de l'installation.

$$S = \sqrt{(P^2) + (Q^2)} \quad (2.7)$$

Avec :

$$Q = P \times \sin\beta / \cos\beta \quad (2.8)$$

Q : puissance réactive [KVAR]

P : puissance crête du champ photovoltaïque

S : puissance apparent de l'onduleur

On prend $\sin\beta = 0.6$ Et $\cos\beta = 0.8$

II.7. Dimensionnement du régulateur de charge :

Le régulateur est dimensionné d'après les paramètres suivants : tension nominal, courant D'entrée et courant de sortie.

Tension nominale : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

Courant d'entrée I_{max} : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles Débit. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal. [23]

Courant de sortie I_s : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la Valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. [19]

Elle peut être Déterminée par la formule suivante :

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U} \quad (2.9)$$

Avec :

P_{ch}: La puissance du champ photovoltaïque qui est calculée comme suit :

$$P_{ch} = P_p \times N_s \times P_c \quad (2.10)$$

P_p : Puissance crête unitaire panneau

II.8. Dimensionnement des batteries de stockage

Les batteries servent à stocker l'excédent d'électricité produit par les systèmes photovoltaïques lorsque la production est supérieure à la consommation, et à le restituer lorsque la consommation dépasse la production. Le dimensionnement des batteries implique deux décisions importantes :

- Le choix de la tension de la batterie.
- Le choix de la capacité de la batterie.

II.8.1. Le choix de la tension de la batterie

Une batterie, également appelée batterie d'accumulateurs, est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques. Un accumulateur électrochimique fonctionne comme un "générateur réversible", capable de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique et de la restituer à tout moment grâce à la réversibilité du processus de transformation. Cette réaction se produit dans une cellule élémentaire entre deux électrodes immergées dans un électrolyte, et s'active lorsqu'une charge est connectée à ses bornes. [19]

Contrairement à une pile, un accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible, ce qui le rend rechargeable.

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque en Watt. De façon générale on a :

Puissance Crête (WC)	Moins de 500WC	de 501WC à 2000WC	De 2001WC à 10000WC	Plus de 10000 WC
Tension du Champ (v)	12	24	48	96

Tableau II.2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête. [19]

II.8.2. Dimensionnement du parc de batteries :

Le dimensionnement des batteries se fait selon les étapes suivantes :

- Calcul de l'énergie consommée (E_c) par les différents équipements.
- Détermination du nombre de jours d'autonomie souhaités.
- Identification de la profondeur de décharge admissible pour le type de batterie utilisé.
- Calcul de la capacité (C) de la batterie à l'aide de la formule suivante :

$$C = \frac{E_c \times N}{D \times U} \quad (2.11)$$

Avec :

C : capacité de la batterie en ampère heure (Ah).

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j).

N : nombre de jour d'autonomie.

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb), décharge profonde

Autorisée est de (0.3 à 0.9).

U : tension de la batterie (V).

❖ Nombre de batteries en séries :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} \quad (2.12)$$

Avec :

V_{ch} : tension du champ

V batterie : la tension de la batterie (V)

❖ **Nombre de batterie en parallèles :**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} \quad (2.13)$$

Avec :

C_{ch} : capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

C_{batterie} : capacité d'une batterie.

La durée de vie d'une batterie diminue rapidement à mesure que la profondeur de décharge augmente. En général, on cherche à limiter cette profondeur de décharge à 50%, ce qui signifie que seulement la moitié de la capacité des batteries est utilisée pour préserver leur longévité.

II.9. Le dimensionnement des câbles électriques solaires

Pour garantir une efficacité optimale dans les systèmes solaires, il est fondamental de choisir des câbles adaptés qui peuvent supporter les conditions environnementales et assurer une longue durée de vie tout en minimisant les pertes d'énergie. Étant donné que les intensités élevées dans la partie courant continu posent des problèmes de pertes joules et de chutes de tension, il est crucial de sélectionner des câbles de section appropriée. Cela permet de réduire au maximum les pertes et les chutes de tension entre les panneaux solaires, les batteries et l'onduleur-chargeur.

L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante :

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (2.14)$$

Avec :

R : la résistance en (Ω)

ρ = la résistivité en ($\Omega \cdot \text{mm}$)

S : Section du câble en [mm^2].

L : Longueur du câble en [mm].



Figure II.7 : Câbles solaire

II.10. Présentation des Logiciels PVsyst

II.10.1. Définition

PVsyst est un outil logiciel conçu pour l'industrie de l'énergie solaire. PVsyst crée, simule et analyse tous types de systèmes d'énergie solaire. PVsyst est réputé pour sa précision et sa flexibilité pour deux raisons :

1. PVsyst permet aux utilisateurs de saisir des données spécifiques sur leurs systèmes solaires. Par exemple, des données sur les modules solaires photovoltaïques et les onduleurs.
2. PVsyst peut simuler les performances d'un système énergétique dans diverses conditions. Par exemple, l'orientation des panneaux solaires, l'emplacement et le climat du site, la charge électrique et les schémas de consommation, etc. De plus, PVsyst offre une gamme d'options de personnalisation avancées pour la conception de systèmes photovoltaïques. Cela comprend la modélisation de différentes technologies de panneaux, l'intégration de l'ombrage et d'autres facteurs spécifiques au site, et l'optimisation des performances du système en fonction de divers critères, tels que la production d'énergie, le coût ou les émissions de CO₂.



Figure II.8 : Désignation du projet dans PVSYST

II.10.2. Avantages de PVsyst [24]

- **Précision** : PVsyst utilise des algorithmes et des bases de données avancés pour simuler les performances des systèmes d'énergie solaire. Ainsi, les utilisateurs conçoivent des systèmes optimisés en fonction de leur emplacement, de leurs données météorologiques et de leur charge électrique.
- **Flexibilité** : PVsyst permet aux utilisateurs de saisir une large gamme de données et de personnaliser leurs simulations en fonction de leurs besoins. L'optimisation des performances du système en fonction de diverses circonstances permet à l'utilisateur de réaliser des économies.
- **Facilité d'utilisation** : PVsyst permet aux professionnels de l'énergie solaire de saisir facilement des données, d'exécuter des simulations et d'analyser les résultats. Le logiciel est également fourni avec une documentation complète et des ressources d'assistance pour aider les utilisateurs à tirer le meilleur parti du logiciel.

II.10.3. fonctionnement [24]

Le flux de travail de PVsyst se compose de trois étapes principales :

1. **Saisie de données** : Les utilisateurs saisissent des données spécifiques sur leur système d'énergie solaire, comme les données météorologiques, le type de panneau, la taille du système et les spécifications de l'équipement. Le logiciel utilise ces données pour simuler les performances du système dans différentes conditions. PVsyst exécute des

simulations pour prédire la production et la consommation d'énergie au fil du temps, en tenant compte de facteurs tels que l'irradiation solaire, la température et l'ombrage.

2. **Analyse** : PVsyst propose une gamme d'outils d'analyse pour aider les utilisateurs à comprendre et à optimiser les performances de leur système. Par exemple, le logiciel fournit des graphiques et des tableaux affichant des indicateurs de performance clés, tels que la production d'énergie, l'efficacité et le coût.

PVsyst propose quatre systèmes centraux de conception de projets :

- **Système autonome** : Idéal pour les petits systèmes d'énergie solaire autonomes qui ne sont pas connectés au réseau, comme les cabanes isolées, les bateaux ou les maisons hors réseau. Ce système produit la plus grande production d'énergie et l'autosuffisance.
- **Système connecté au réseau** : Conçu pour les systèmes énergétiques connectés au réseau et ceux capables de vendre l'excédent d'énergie, comme les bâtiments résidentiels ou commerciaux. Il optimise la production d'énergie et les économies de coûts.
- **Système hybride** : Destiné aux systèmes d'énergie solaire combinant différentes technologies, comme des panneaux photovoltaïques, des chauffe-eau solaires et des systèmes de stockage d'énergie. Il est idéal pour les maisons ou entreprises souhaitant être économes en énergie et réduire leurs émissions de carbone.
- **Système solaire thermique** : Conçu pour générer de la chaleur à partir de l'énergie solaire, comme les chauffe-eau solaires ou les centrales thermiques. Il est utilisé couramment dans les systèmes d'eau chaude industriels ou la production d'électricité à grande échelle.

II.10.4. Méthode Générale d'Utilisation de PVsyst

1. Création du Projet

La première étape consiste à définir le projet dans l'interface de PVsyst :

- **Type d'installation** : Choisissez le type de système (connecté au réseau, autonome ou hybride).

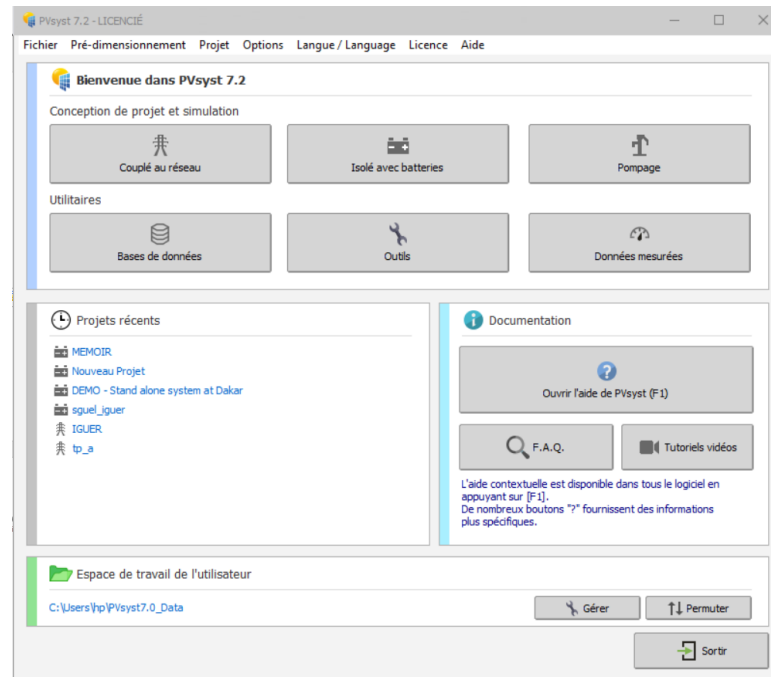


Figure II.9 : l'interface de logiciel PVsyst

- **Localisation** : Indiquez la localisation géographique en entrant les coordonnées ou en sélectionnant un emplacement sur la carte. Cela permet d'importer des données météorologiques spécifiques au site.

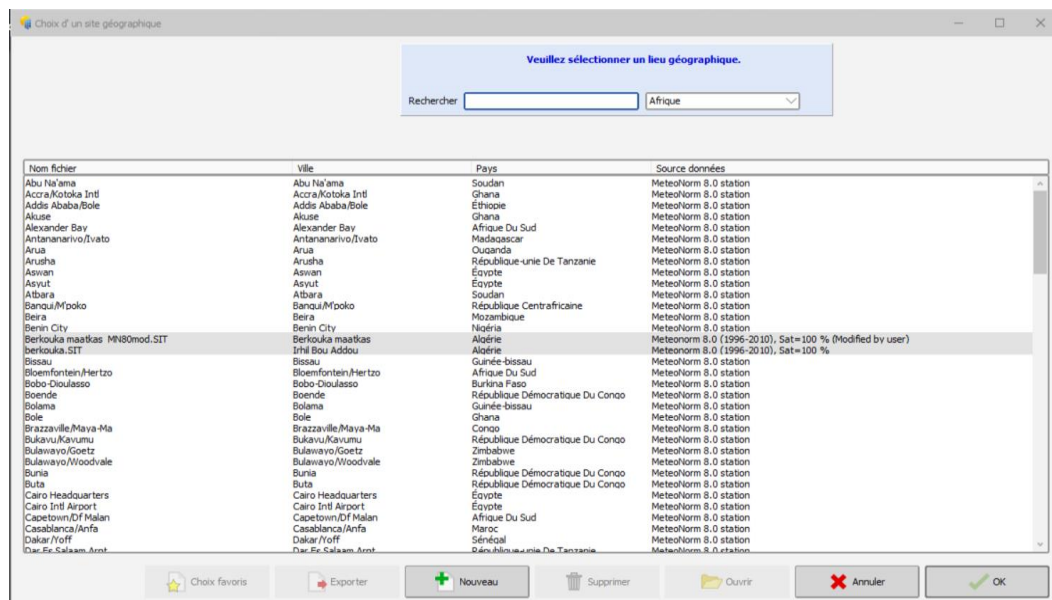


Figure II.10 : localisation géographique

2. Sélection des Composants

Dans cette étape, vous choisissez les équipements qui constitueront votre système :

- **Modules photovoltaïques** : Sélectionnez les panneaux parmi une vaste base de données de fabricants, en tenant compte de leurs caractéristiques techniques (puissance, rendement).
- **Onduleurs** : Définissez le type et la puissance des onduleurs nécessaires pour convertir l'énergie produite.
- **Autres équipements** : Pour les systèmes autonomes, sélectionnez également les batteries et autres dispositifs de stockage.

3. Configuration du Système

Une fois les composants choisis, configurez le système :

- **Schéma de système** : PVsyst génère un schéma visuel représentant l'architecture du système, facilitant ainsi la compréhension de l'ensemble.
- **Paramètres techniques** : Définissez les paramètres d'installation tels que l'inclinaison et l'orientation des panneaux pour maximiser la captation solaire.

4. Simulation Préliminaire

L'étape suivante consiste à effectuer une simulation préliminaire :

- **Production énergétique** : PVsyst calcule la production annuelle d'énergie en fonction des données météorologiques et des spécifications des composants.
- **Pertes et rendement** : Évaluez les pertes potentielles dues à l'ombrage, à la température et à d'autres facteurs.

5. Optimisation du Système

PVsyst offre des outils pour optimiser les performances du système :

- **Ajustement des paramètres** : Modifiez les angles d'inclinaison ou d'orientation et évaluez l'impact sur la production d'énergie.
- **Évaluation des configurations** : Testez différentes combinaisons de modules et d'onduleurs pour trouver le meilleur rapport coût-efficacité.

6. Rapport Détaillé

Après la simulation, PVsyst génère un rapport complet :

- **Bilan énergétique** : Le rapport présente la production totale, les pertes, et l'efficacité du système.
- **Graphiques et tableaux** : Des représentations graphiques illustrent les résultats mensuels ou annuels de production et de consommation.

7. Études d'Ombrage et Analyses de Sensibilité

PVsys permet d'approfondir l'analyse du système :

- **Études d'ombrage** : Analysez l'impact de l'ombrage sur la production d'énergie en ajustant la disposition des panneaux.
- **Analyse de sensibilité** : Testez la robustesse du système face aux variations de paramètres (conditions climatiques, prix des composants).

II.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les différents composants d'un système photovoltaïque autonome, notamment les panneaux solaires, les onduleurs et les systèmes de stockage d'énergie. Nous avons également abordé les méthodes de dimensionnement essentielles pour garantir l'efficacité et la rentabilité de l'installation. En parallèle, nous avons décrit les équations fondamentales permettant d'optimiser le choix et la configuration des équipements en fonction des besoins spécifiques du site. Ces éléments fournissent une base solide pour l'analyse et la modélisation de systèmes photovoltaïques. À la fin de ce chapitre, nous avons également présenté une description du logiciel PVsys, mettant en avant son rôle dans l'analyse et l'optimisation des performances du système photovoltaïque. Dans le chapitre suivant, nous mettrons en pratique ces concepts à travers des calculs analytiques et des simulations réalisées avec PVsys, afin de valider les résultats obtenus et d'optimiser les performances du système proposé.

CHAPITRE III

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons expliquer les différentes méthodes de dimensionnement pour calculer les besoins énergétiques d'une maison autonome. Nous commencerons par des calculs analytiques afin d'estimer la consommation totale moyenne par jour. Ensuite, nous utiliserons le logiciel PVsyst pour affiner ces résultats. Cet outil permettra de simuler l'installation solaire et d'autres systèmes énergétiques, tout en tenant compte des spécificités du site. Enfin, nous comparerons ces approches pour choisir la solution la plus adaptée aux besoins de la maison autonome.

Pour bien comprendre les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque on propose de faire une application sur une habitation

III.2. Type d'installation

Pour notre étude, nous avons sélectionné une installation photovoltaïque autonome, non connectée au réseau électrique.

III.3. Présentation de la maison :

III.3.1. Architecture :

La demeure comprend deux chambres, un salon, une cuisine, un bureau, deux salles de bain, un couloir, des toilettes et un jardin. Actuellement, cinq personnes y résident.

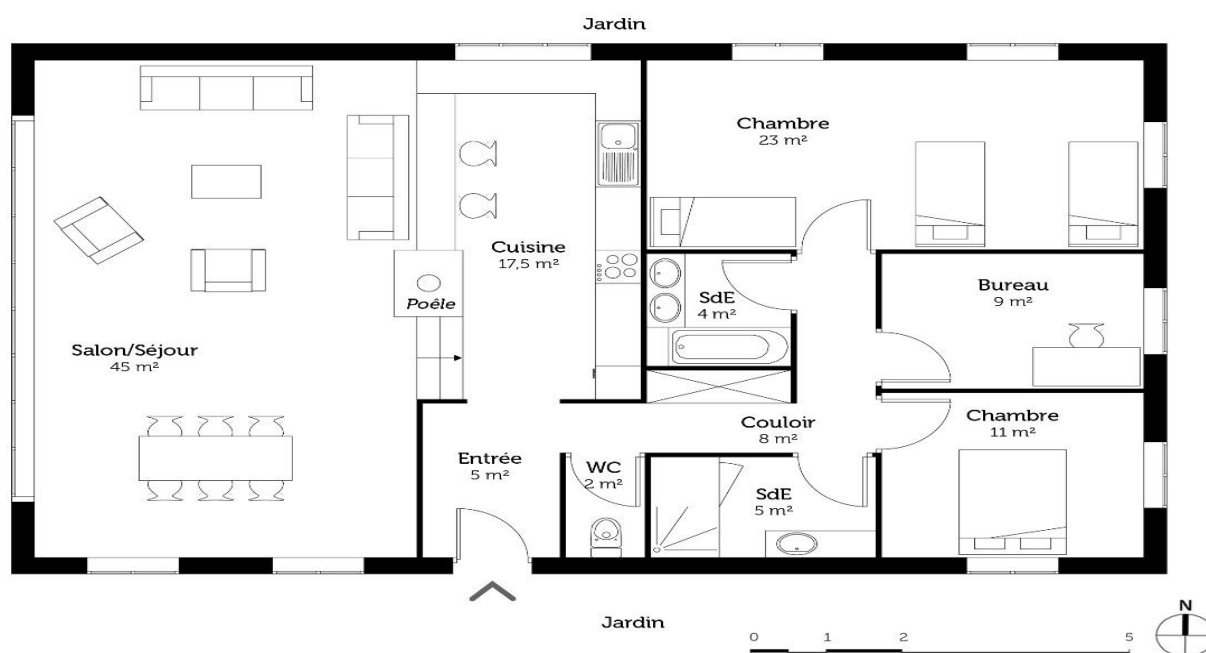


Figure III.1: Plan de la maison

III.3.2. Position géographique :

La résidence, située à Maatkas dans la commune de la wilaya de Tizi-Ouzou, se trouve à environ 23 km de la ville, dans une zone isolée où le réseau électrique de SONELGAZ n'est pas disponible pour fournir de l'électricité. Habitée par cinq personnes. Dans ce contexte, une installation photovoltaïque (PV) est nécessaire pour répondre aux besoins en énergie. La figure 2 présente une image satellite de l'habitation.

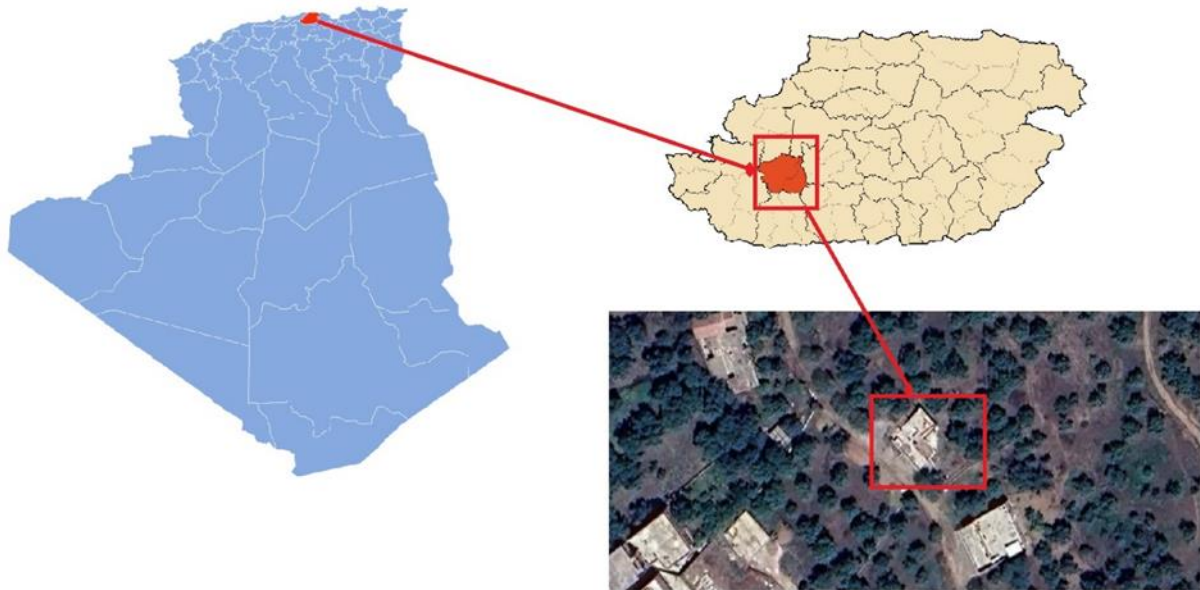


Figure III.2 : Position de la maison.

III.3.3. Localisation du site

Wilaya : Tizi-Ouzou

Site : Maatkas ("Berkouka")

Latitude (λ): 36°, 59 Nord

Longitude (Φ) : 3°,97 Est

Altitude (z) : 482 mètres

Albédo : 0,2

Température ambiante min : +5°C

Température ambiante max : +40°C β (°) = φ + 10°

Ce qui donne : β (°) = 36° 42+10° = 46°, 42.

III.3.4. Données météorologiques [25]

En Algérie :

- La durée d'ensoleillement journalière minimale est de : 2 h/jour.
- La durée d'ensoleillement journalière maximale est de : 8h/jour.
- En général on prend la moyenne de : 5 h/jour.

III.3.5. Consommation énergétique totale

Nous proposons d'estimer la consommation électrique quotidienne de cette maison. Les équipements de l'installation peuvent fonctionner soit en courant continu, comme les LED et les pompes à eau, soit en courant alternatif. Dans notre cas, seuls les équipements fonctionnant en courant alternatif seront utilisés.

Eléments	Equipement	Nombre	Puissance nominal (W)	Durée d'utilisation (h/jour)	Besoin énergétique (Wh/jour)
Salon	Télévision	1	120	4	480
	Lustre	1	72	5	360
	LED profil	1	14	5	70
	Démo	1	25	4	100
Chambre 1 23m ²	Play 5	1	35	2	70
	Lampe	1	12	3	36
	Chargeur téléphone	3	5	2	30
	Télévision	1	101	2	202
Chambre 2 11m ²	Lampe	1	12	3	36
	Chargeur téléphone	2	5	2	20
	Télévision	1	35	2	70
	Sèche cheveux	1	600	1/6	100

	Fer à repassé	1	1900	1/10	190
Cuisine	Lampe	1	12	5	60
	Four électrique	1	1300	1/2	650
	Mixeur	1	200	1/9	22
	Réfrigérateur	1	220	24	5280
	Micro-onde	1	1800	1/5	360
Bureau	Lampe	1	12	4	48
	PC portable	2	30	4	240
	Ordinateur de bureautique	1	150	2	300
	Modem	1	6.5	12	78
Salle de bain 1	Lampe	1	12	2	24
	Lave-linge	1	1300	1	1300
	Chauffe d'eau	1	2500	1/3	833
Salle de bain 2	Lampe	1	12	1	12
WC	Lampe	1	12	1	12
couloir	Lampe	3	12	4	144
	Climatiseur	1	1000	2	2000
Extérieur(jardin)	Lampe	6	12	1/4	18
	Pompe à eau	1	380	1/4	95

Tableau (III-1) : Estimation des besoins électriques journaliers

III.3.6. Répartition de la consommation d'électricité au sein du foyer

La répartition de la consommation électrique de la maison étudiée est illustrée dans le tableau (II-2).

besoins électriques	Consommation en (w)	Besoin énergétique (Wh/jour)
Eclairage	278	820
Audio-visuel	557.5	1590
Froid	5020	9413
Electroménager	5800	1322
Outillage	380	95
Total	12035.5	13240

Tableau (III-2) : Répartition de la consommation électrique et besoin énergétique

III.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

On détermine la puissance crête de l'installation en appliquant la formule (2.2) et en prenant en considération l'énergie consommée par jour, comme suit :

$$P_{ch} = \frac{13240}{0.65 \times 5} = 4073.85 \text{ Wc}$$

Selon la valeur de la puissance crête (Wc), la tension de l'installation est de 48 V (voir Tableau II.2).

III.4.1. Choix du panneau solaire a utilisé

Les panneaux solaires photovoltaïques choisis pour l'installation sont de type Monocristalline d'une puissance nominale de 300 W. la figure (II.3) montre leurs caractéristiques :

Electrical Specifications		Mechanical Specifications	
Model Type	SA-C300	Cell type	IBC
Peak Power (Pmax)	300W	Number of cells	total 45 cells in series
Module Efficiency	22.52%	Weight	14.5kg [31.97lbs]
Maximum Power Voltage (Vmp)	27.2V	Dimensions	1540 x 865 x 35mm [60.53 x 34.06 x 1.38in]
Maximum Power Current (Imp)	11.03A	Frame	> 15 μ m clear anodized aluminum
Open Circuit Voltage (Voc)	31.9V	Junction Box	IP 65 waterproof
Short Circuit Current (Isc)	11.52A	Cables	4.00mm ² , 900mm
Power Tolerance	-5% / + 10%	Connectors	MC4 compatible
Maximum System Voltage	600V		
Normal Operating Cell Temp.	46 °C (+/- 2)		

Temperature Coefficients		Warranties & Certifications	
Power	-0.3%/K	Warranties	2 years product warranty, 25 years limited power warranty of 80% of the minimum specified power rating
Voltage	-0.268%/K		
Current	0.042%/K		

Figure II.3: Caractéristiques techniques du panneau photovoltaïque à utiliser. [27]

III.4.2. Calcul du nombre de panneaux à utiliser

En utilisons la formule (2.4), le nombre de panneaux total nécessaire est :

$$Nm = \frac{4074}{300} = \mathbf{13.58}$$

Donc on utilise 14 panneaux de 300 Wc

À partir du nombre de panneaux et de la tension du champ, il est possible de déterminer le nombre de modules connectés en série et en parallèle, conformément aux équations (2.5-6).

III.4.2.1. En série :

D'après la formule (2.5), le nombre de panneaux connectés en série est :

$$Ns = \frac{48}{27.2} = \mathbf{1.76}$$

Ns obtenu vaut 1.76, on opte pour 2 panneaux connecté en série

III.4.2.2. En parallèle

D'après la formule (2.6), le nombre de panneaux connectés en parallèles est :

$$Np = \frac{14}{2} = 7$$

Donc on utilise 7 panneaux de 300Wc connectés en parallèles.

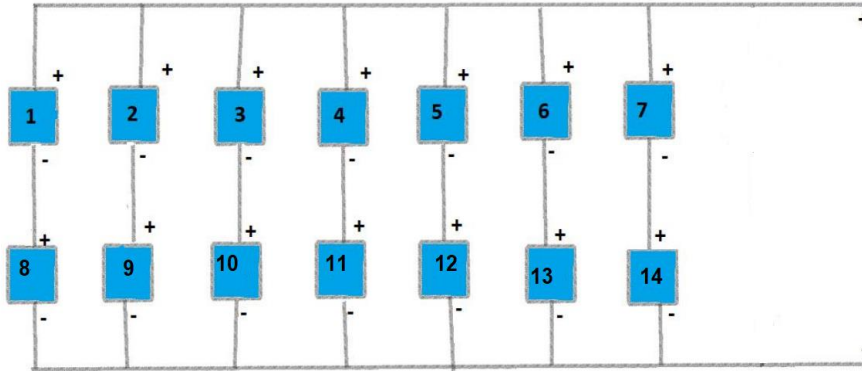


Figure II.4 : le schéma de l'installation PV GLOBALE (SÉRIE-PARALLÈLE)

III.5. Dimensionnement des batteries

On va calculer le nombre total des batteries à utiliser en série et en parallèle par l'équation (2.11). Pour 4 jours d'autonomie ($N=4$), tenant compte de la puissance requise au fonctionnement des appareils

Donc :

$$Cch = \frac{13240 \times 4}{0.8 \times 48} = 1379.17 \text{ Ah}$$

III.5.1. Nombre de batteries en séries :

On prend le choix des batteries de 24 V, car on cas où une batterie perd son fonctionnement on va changer une batterie de 24 V mieux qu'une batterie de 48 v qui est plus chère. On utilise des batteries de 24 V et une capacité : C batterie 260Ah

D'après la formule (2.12), le nombre de batteries montée en série est :

$$Ns = \frac{48}{24} = 2$$

Donc 2 batteries de 24V et de capacité de 260Ah montées en série.

III.5.2. Nombre de batteries en parallèle :

D'après la formule (2.13), le nombre de batteries montée en parallèles est :

$$Np = \frac{1379}{260} = 5.3$$

Donc 6 batteries de 24V et de capacité de 260Ah montées en parallèles.

Le nombre total de batteries à utiliser pour l'installation en correspond alors à :

$$\text{Nombre total de batteries} = NP \times Ns$$

Ce qui donne :

$$Nt = 6 \times 2 = 12$$

III.6. Choix du régulateur de charge

Le régulateur sera déterminé par la formule (2.9) et (2.10)

$$Pch = 300 \times 7 \times 2 = 4200 \text{ Wc}$$

Ce qui donne :

$$Imax = \frac{4200}{48} = 87.5 \text{ A}$$

Don on utilise un régulateur de **48v/87.5A**

III.7. Choix de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur utilisé doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 48 V et une demande de puissance de 4200 WC.

D'après la formule (2.7) et la formule (2.8) on trouve :

$$Pr = 4.074 \times \frac{0.6}{0.8} = 3.055 \text{ KVAR}$$

Ce qui donne :

$$Ponduleur = \sqrt{4.074^2 + 3.055^2} = 5.1 \text{ KVA}$$

III.8. Choix des câbles :

Dans cette partie, un aperçu est donné sur le calcul des câbles nécessaires pour connecter les différents panneaux photovoltaïques. En ce qui concerne les autres connexions (régulateur, appareils, onduleur), elles dépendent des conditions spécifiques de mise en œuvre sur le site.

La chute de tension admissible à travers un câble est limitée à 2% de la tension appliquée au champ des batteries de stockage, ce qui signifie que la différence de potentiel autorisée aux bornes d'un câble de connexion correspond à :

$$\Delta U = \text{Tension appliquée} \times 0.02 \quad (2.15)$$

III.8.1. Calcul de la section de câble à utiliser pour l'installation :

En prenant en compte l'intensité optimale fournie par un panneau solaire, soit :

$$I_{max} = 87.5 \text{ A}$$

Ainsi, pour sept panneaux connectés en parallèle, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{max} = 87.5 \times 7 = 612.5 \text{ A}$$

Étant donné que la tension du champ de batteries est de 48V, la chute de tension autorisée pour les câbles de connexion sera :

$$\Delta U = 48 \times 0.02 = 0.96 \text{ V}$$

En utilisant la loi d'Ohm, on peut déterminer la résistance de ces câbles comme suit :

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0.96}{87.5} = 0.011 \Omega$$

Étant donné que la longueur du câble solaire nécessaire correspond à la largeur des sept panneaux connectés en parallèle, il en résulte que :

$$L = 0.865 \times 7 = 6.055 \text{ m}$$

La section des câbles à utiliser, formule (2.14) :

$$(15 \times 10^{-9}) \times \frac{6.055}{0.011} = 8.25 \text{ mm}^2$$

La section normalisée correspond à : **10 mm²**

Section des câbles en mm ²	0.5	0.75	1	1.25	2.5	4	6	10	16
Intensité max en A	3	6	10	16	25	30	40	60	80

Tableau (III.3): Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant. [26]

Les résultats du dimensionnement pour notre système sont résumés dans le tableau suivant :

Dimensionnement		Système
Puissance crête à installer (WC)		13240
Tension de l'installation (V)		48
Nombre de modules	Total	14
	En série	2
	En parallèle	7
Batteries	Capacité total (Ah)	1379.17
	Nombre total	12
	Eléments en séries	2
	Eléments en parallèles	6
	Courant de sortie(A)	87.5
Régulateur de charge		48V/87.5A
Type de câble section (mm ²)/ et longueur(m)		10/10
Puissance de l'onduleur (KVA)		5.1

Tableau III.4 : Résultats du dimensionnement système.

III.9. Dimensionnement de l'installation PV par logiciel PVSYSY

Nous configurerons les paramètres du système sur PVsyst, simulerons les performances des panneaux solaires selon l'emplacement et les conditions météorologiques, puis analyserons les résultats pour optimiser l'installation

III.9.1 Choix d'une Installation Photovoltaïque

Pour notre étude, nous avons opté pour une installation photovoltaïque autonome, non raccordée au réseau électrique. Ainsi, nous avons configuré une solution isolée avec batterie sur PVsyst

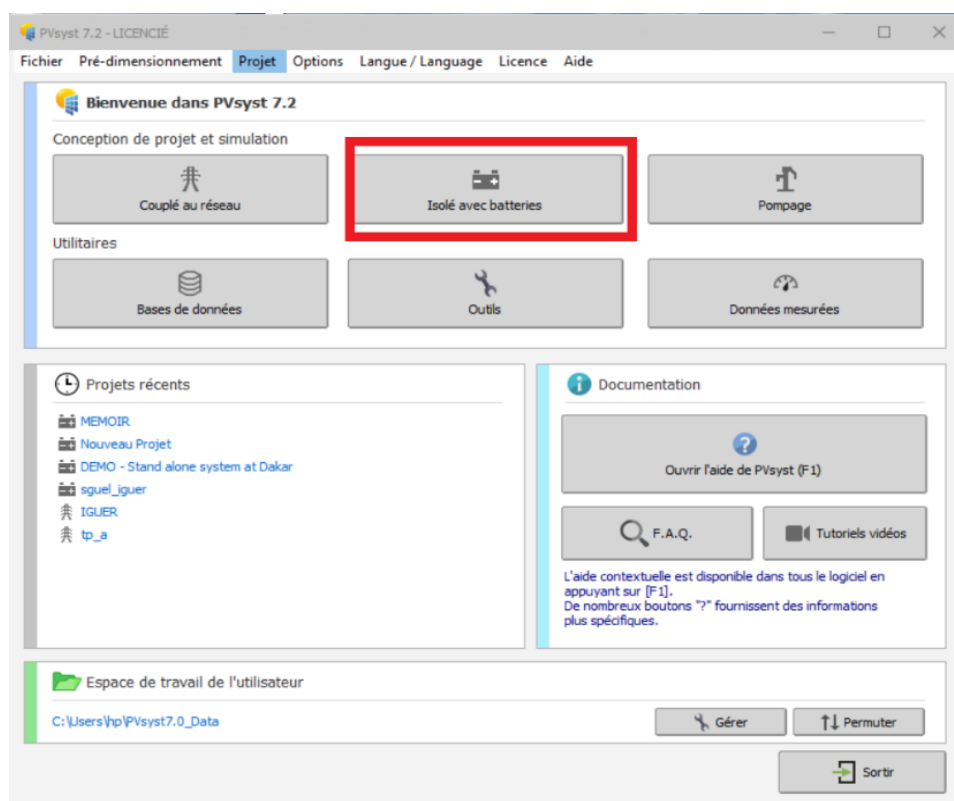


Figure III.5 : choix de l'installation pv sur PVSYSY

III.9.2. Localisation de site et coordonnées géographiques

Nous allons définir l'emplacement du site sur le logiciel PVsyst pour adapter les simulations aux caractéristiques géographiques spécifiques

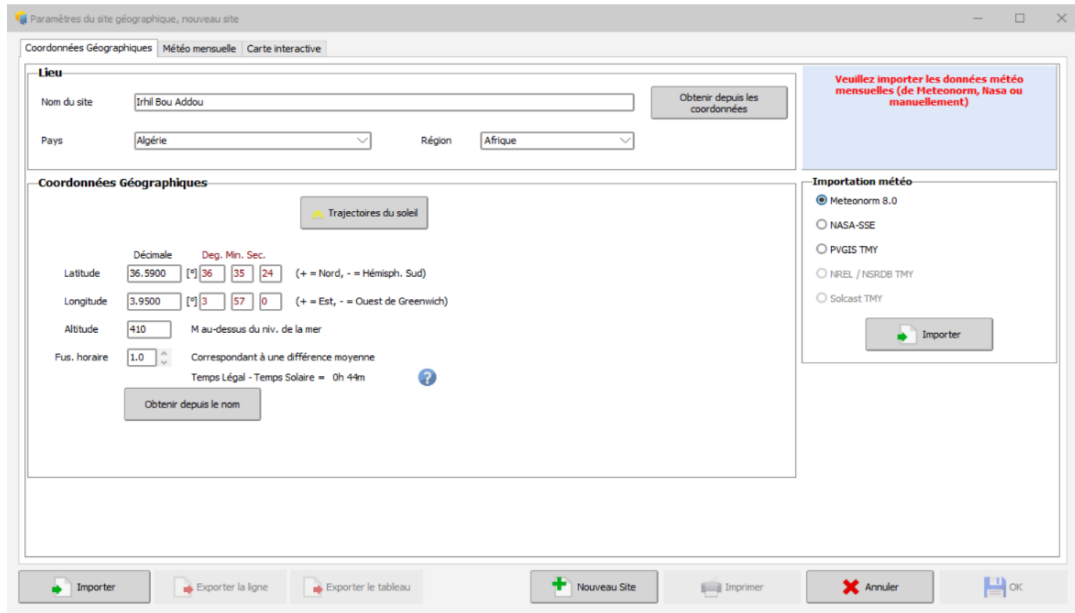


Figure III.6 : localisation et coordonnées géographiques de site choisi

III.9.3. Données météorologiques du site

Après avoir localisé le site, nous cliquons sur le bouton « importer » pour intégrer les données météorologiques dans PVsyst. Ces données mensuelles comprennent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent

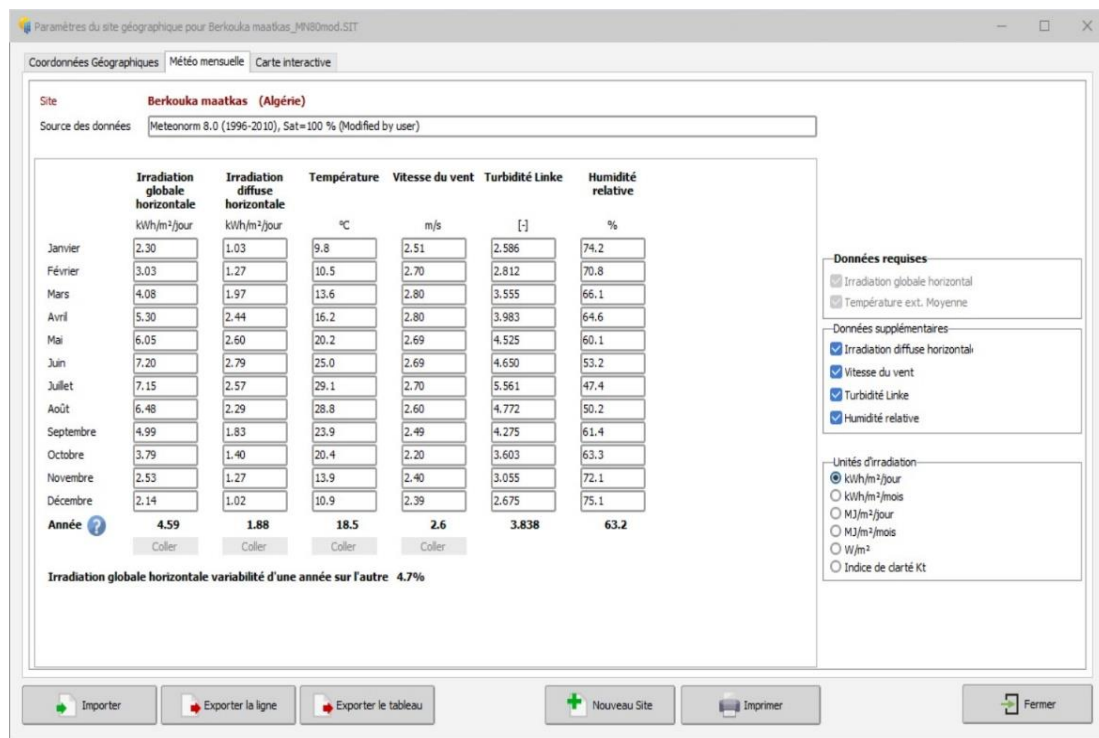


Figure III.7. Données météorologiques du site

III.9.4. Trajectoire du soleil

Pour toute application solaire, il est essentiel de comprendre le mouvement apparent du soleil pour un emplacement spécifique sur la surface terrestre. La position du soleil est caractérisée par deux angles : la hauteur solaire (HS), qui est l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu, et l'azimut (AZ), qui est l'angle mesuré par rapport à la direction du Sud, compté négativement vers l'Est. La trajectoire du soleil pour le site de notre maison est illustrée dans la figure suivante.

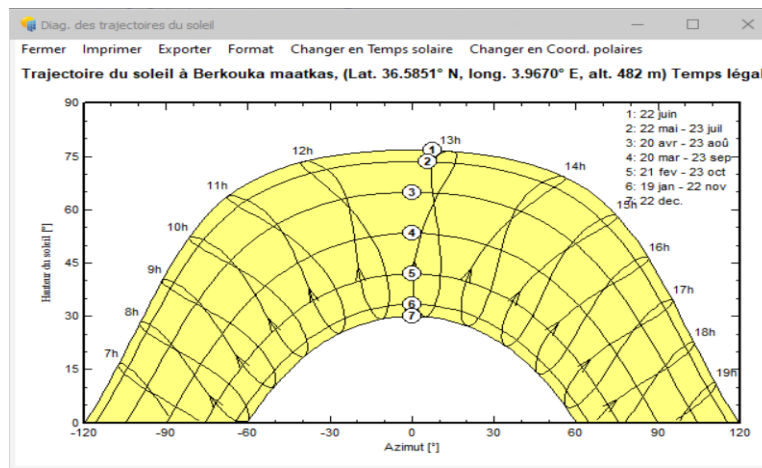


Figure III.8 : Trajectoire du soleil

III.9.5. Orientation des modules PV

Étant donné le coût élevé des modules photovoltaïques, il est crucial de choisir des orientations et des inclinaisons optimales pour maximiser la production d'énergie. Nous avons opté pour une inclinaison fixe de 37° par rapport à l'horizontale, comme illustré dans la figure suivante, car c'est l'inclinaison optimale recommandée par le logiciel PVsyst.

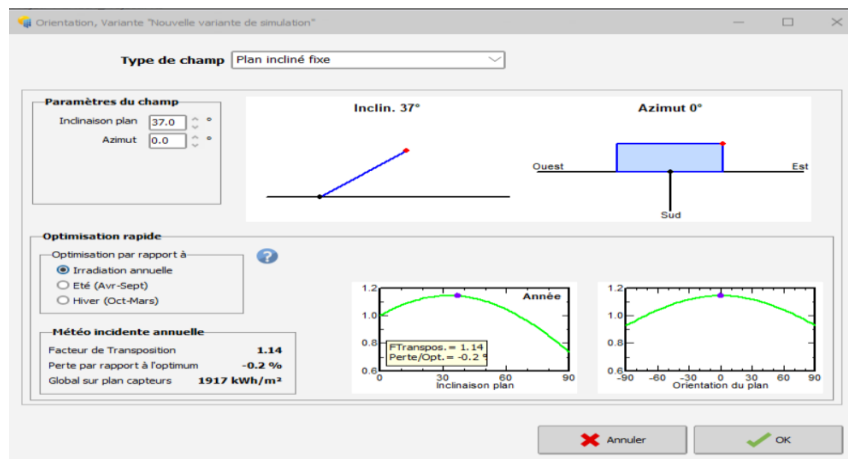


Figure III.9 : Orientation des modules PV

III.9.6. Schéma de l'installation PV

La figure (III.6) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation

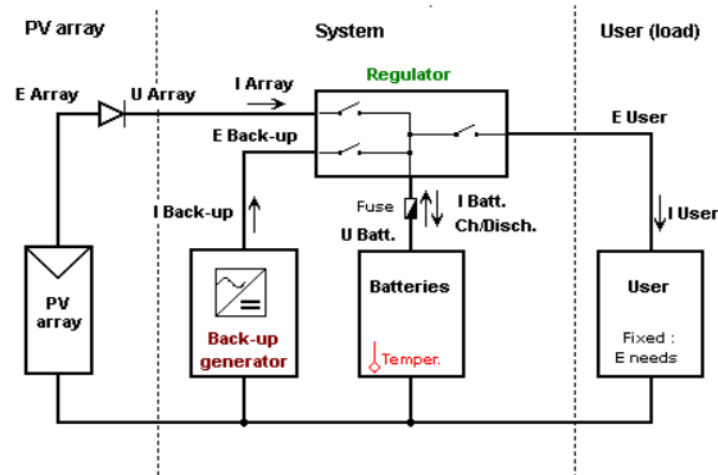


Figure III.10 : schéma d'une installation PV sur un site isolé

III.9.7. Résultats de simulation

III.9.7.1. Besoins électriques :

La figure (III.11), montre les besoins d'utilisateur de la maison par le logiciel PVSYST

Définition des usages domestiques journaliers pour l'année.

Consommation		Distribution horaire				
Consommations journalières						
Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy	
17	Lampe-lustre	12 W/lampe	4.0 h/jour	OK	816 Wh	
2	audio-visuel	159 W/app	5.0 h/jour	OK	1590 Wh	
2	Froid	941 W/app	5.0 h/jour	OK	9413 Wh	
0		0.00 kWh/jour	24.0		0 Wh	
5	Electro-menage	132.2 W moy.	2.0 h/jour	OK	1322 Wh	
0		0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh	
1	Pompe a eau	190 W/app	0.5 h/jour	OK	95 Wh	
Consomm. de veille		1 W tot	24h/jour		24 Wh	
Energie journalière totale					13260 Wh/jour	
Energie mensuelle					397.8 kWh/mois	

Définition consommation par :
 Années
 Saisons
 Mois

Utilis. Week-end ou semaine :
 Utilisation seulement pendant
 7 jours dans la semaine

Figure III.11 : les besoins électriques

III.9.8. Simulation des équipements énergétiques

III.9.8.1. Batteries

On a choisi une batterie Electrona de type Pb-gel 24V/260Ah sous une température fixe 20C°

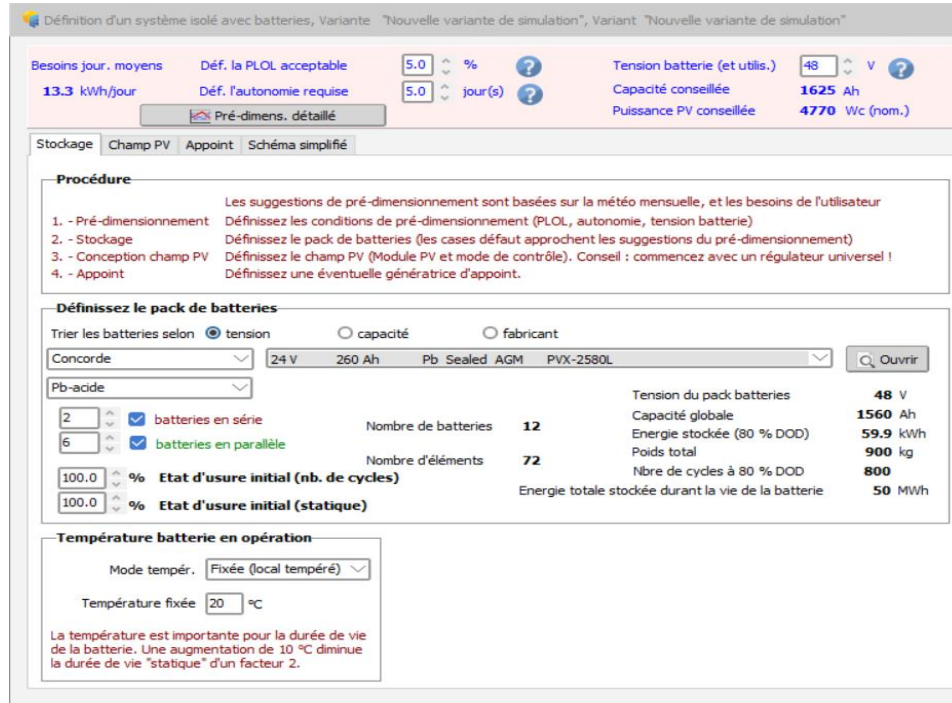


Figure III.12 : Choix des batteries.

III.9.8.2. Modules et onduleurs

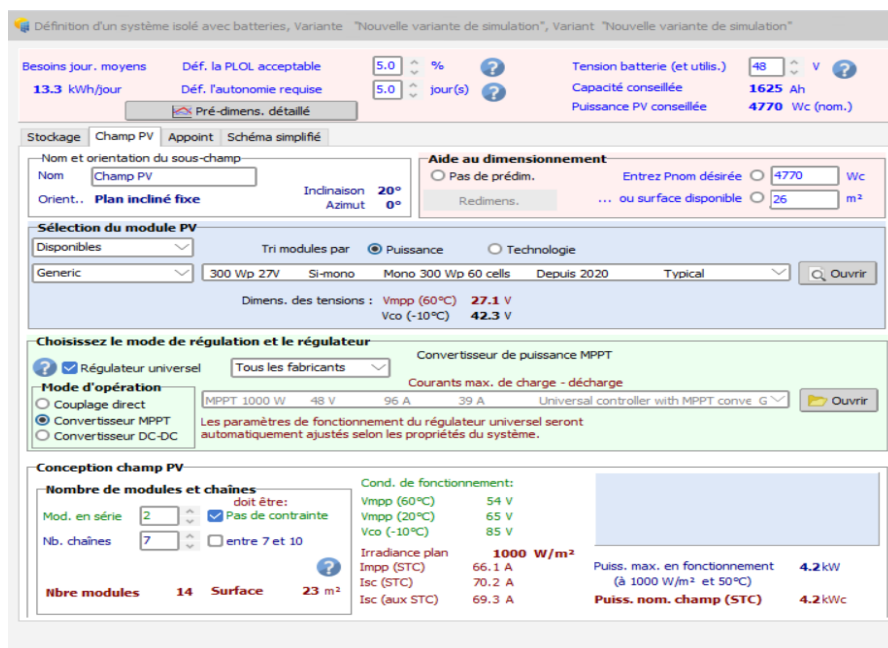


Figure III.13 : choix des onduleurs et modules.

III.9.9. Rapport de simulation

Après la simulation par le PVSYST de la consommation de la maison, on obtient le rapport illustré par les figures suivantes

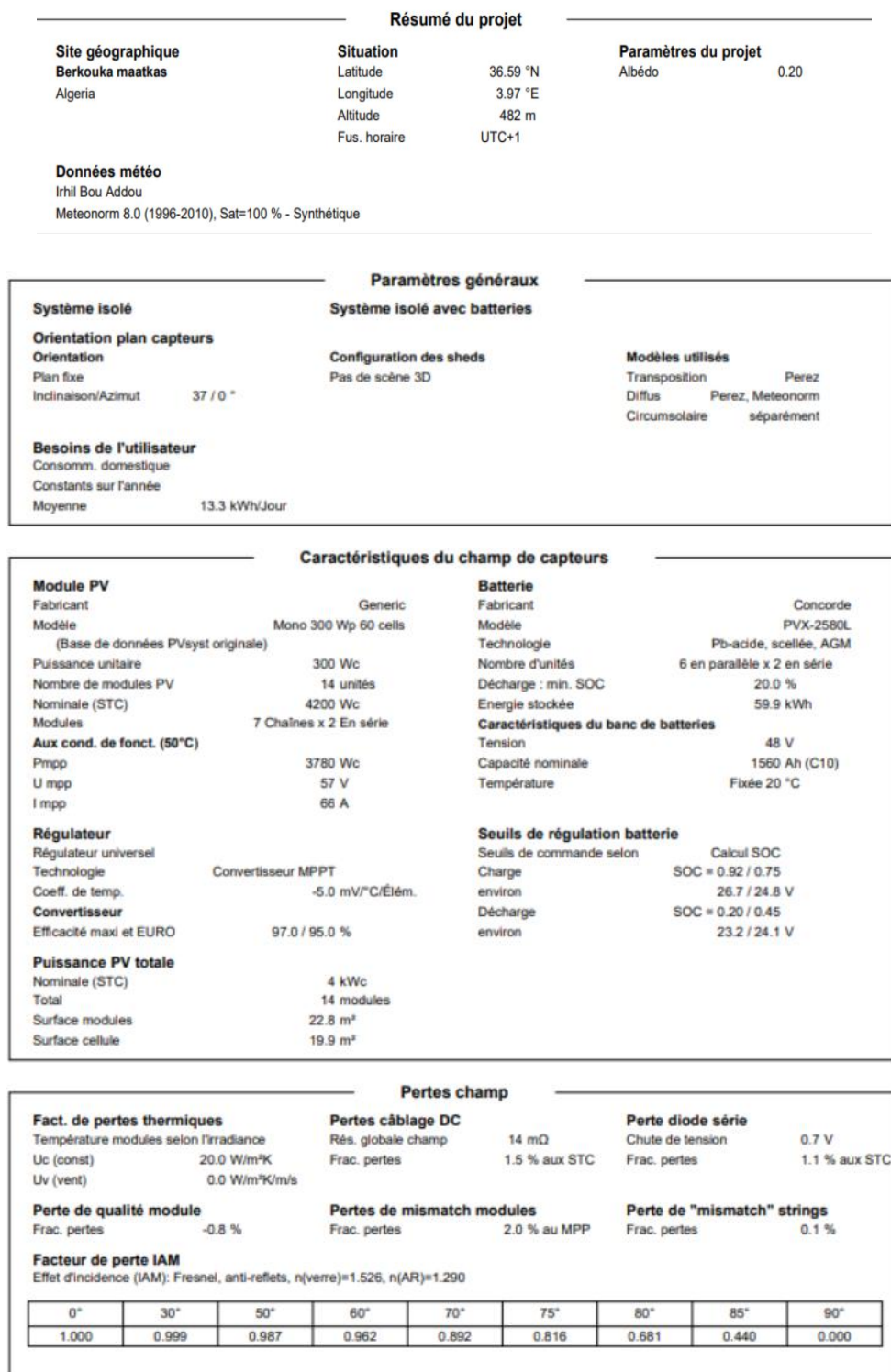


Figure III.14 : Rapport de simulation

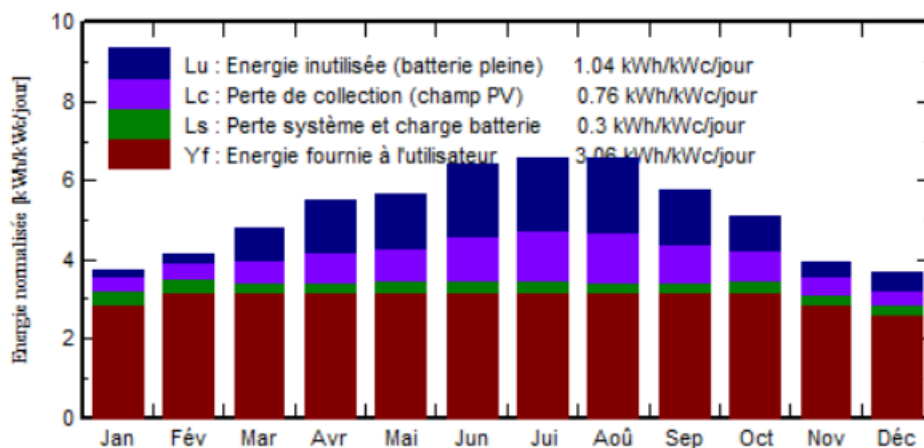


Figure III.15 : Production normalisée (en kWp installée) pendant l'année

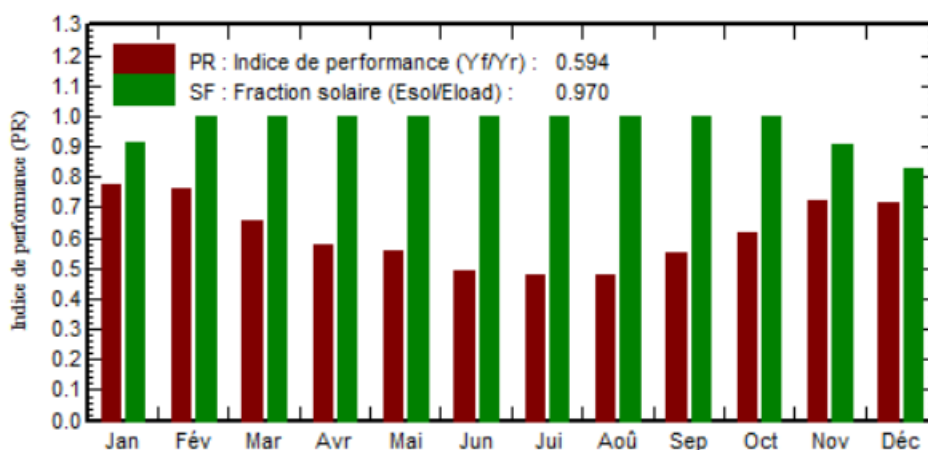


Figure III.16 : indice de performance et la fraction solaire pendant l'année

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
Janvier	71.4	114.3	418.4	17.4	35.01	376.1	411.1	0.915
Février	84.7	114.1	420.6	23.3	0.00	371.3	371.3	1.000
Mars	126.4	146.2	530.6	106.4	0.00	411.1	411.1	1.000
Avril	159.0	161.0	578.9	163.2	0.00	397.8	397.8	1.000
Mai	187.4	170.8	609.0	177.6	0.00	411.1	411.1	1.000
Juin	216.0	187.6	653.2	231.2	0.00	397.8	397.8	1.000
Juillet	221.7	199.0	675.8	239.4	0.00	411.1	411.1	1.000
Août	200.8	199.3	674.6	244.7	0.00	411.1	411.1	1.000
Septembre	149.8	168.9	581.9	167.6	0.00	397.8	397.8	1.000
Octobre	117.5	155.5	544.7	113.7	0.00	411.1	411.1	1.000
Novembre	76.0	117.1	423.6	48.5	38.17	359.6	397.8	0.904
Décembre	66.2	112.0	412.2	57.2	70.22	340.8	411.1	0.829
Année	1676.8	1845.9	6523.6	1590.2	143.40	4696.5	4839.9	0.970

Légendes

GlobHor	Irradiation globale horizontale	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E_Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
E_Avail	Energie solaire disponible	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)
EUnused	Énergie inutilisée (batterie pleine)		
E_Miss	Energie manquante		

Tableau III.5 : Bilan et résultat principaux

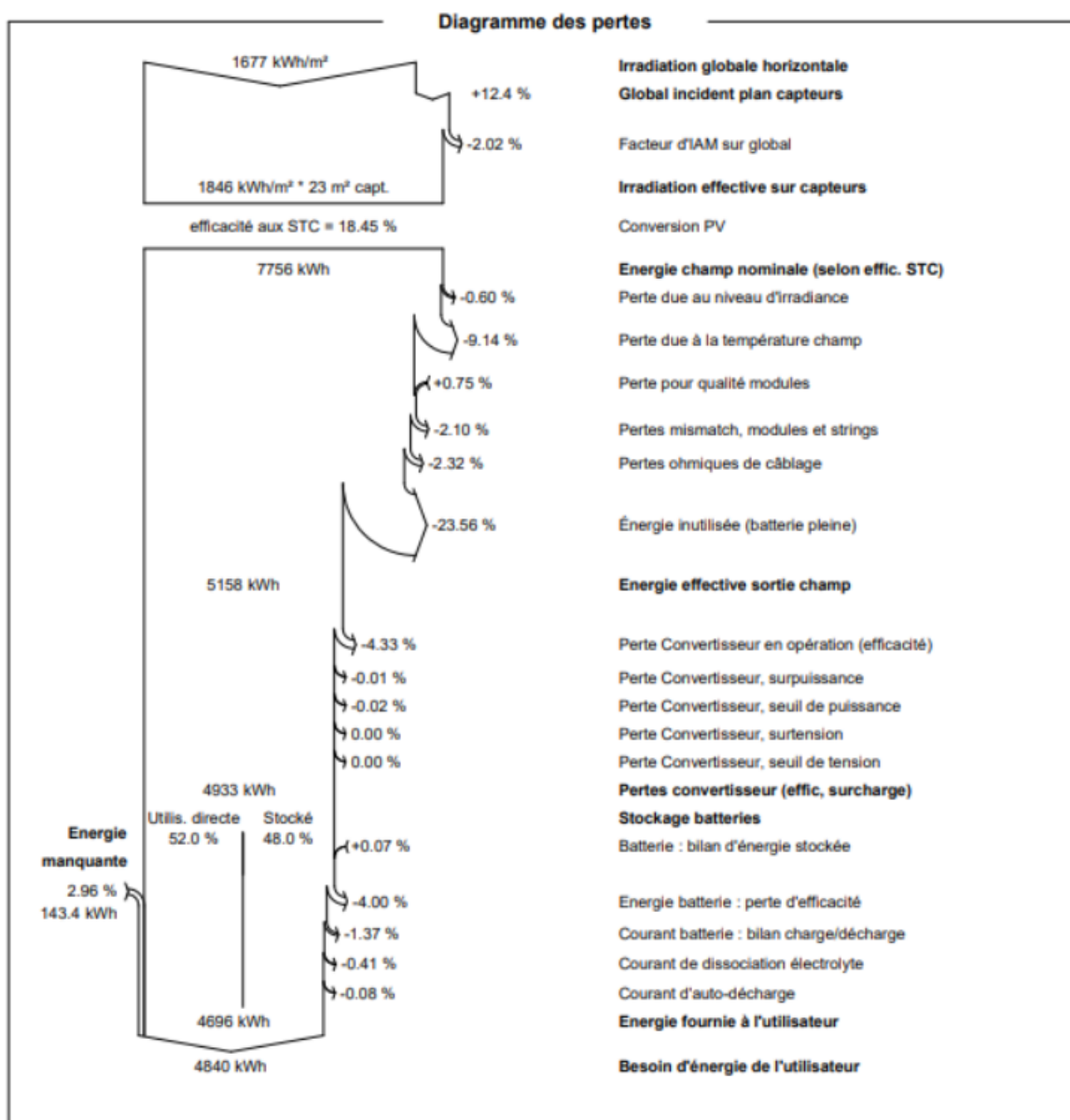


Figure III.17 : Diagramme de puissance et perte.

➤ **Suggestions :**

Nous avons proposé des solutions pour optimiser l'utilisation de l'énergie produite par le système PV autonome. Les solutions envisagées sont les suivantes :

- **Solution 01** : Intégrer un système de stockage par batteries permettant de stocker l'excédent d'énergie afin de l'utiliser pendant les périodes de faible production ou la nuit, assurant ainsi une continuité d'alimentation.
- **Solution 02** : Utiliser l'énergie excédentaire pour alimenter des équipements auxiliaires, comme un système d'irrigation ou un dispositif de chauffage d'eau, contribuant à une

meilleure autonomie du site. La solution 01 est la plus appropriée car elle garantit une indépendance énergétique complète, même en l'absence de production solaire directe. Elle permet également de mieux gérer les besoins énergétiques sur le long terme. Nous recommandons d'installer les panneaux photovoltaïques sur une structure dédiée en surimposition afin de favoriser une meilleure ventilation et un rendement optima

III.10. Comparaison entre les Calculs Analytiques et la simulation de logiciel PVsyst

Les estimations rapides des besoins énergétiques d'un système photovoltaïque, fournies par les calculs analytiques, présentent des limitations en termes de précision et de détails. Basées sur des hypothèses simplifiées, ces méthodes ne tiennent pas toujours compte des variables spécifiques comme les variations météorologiques ou les pertes dues à l'ombrage et aux conditions environnementales.

PVsyst améliore cette précision en offrant une modélisation détaillée des performances des panneaux solaires en fonction de l'emplacement, des conditions climatiques locales et des caractéristiques techniques spécifiques. Ce logiciel prend en compte des facteurs tels que l'orientation, l'inclinaison des panneaux et les pertes énergétiques, fournissant une évaluation plus précise de la production d'énergie et des performances du système.

En somme, PVsyst offre des analyses beaucoup plus détaillées et réalistes que les calculs analytiques. Il est efficace pour simuler les systèmes photovoltaïques, garantissant une évaluation approfondie des performances et des besoins énergétiques.

III.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné différentes méthodes pour dimensionner un système photovoltaïque autonome. Les calculs analytiques sont utiles pour des estimations rapides, mais ils présentent des limites en termes de précision, car ils ne prennent pas toujours en compte des facteurs comme la météo ou les pertes d'énergie.

PVsyst, en revanche, offre une simulation plus précise des performances des panneaux solaires. Il considère des éléments tels que l'emplacement et l'angle des panneaux, ce qui permet d'obtenir une meilleure évaluation de la production d'énergie.

En résumé, bien que les calculs analytiques soient un bon point de départ, PVsyst se révèle être une méthode plus fiable pour garantir l'efficacité des systèmes photovoltaïques. Sa capacité à modéliser les performances des panneaux solaires en fonction de conditions spécifiques assure une meilleure performance du système.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

Conclusion générale

La présente étude s'est concentrée sur le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation électrique d'une maison autonome située à Berkouka, Maatkas, Tizi-Ouzou. La problématique centrale réside dans la nécessité de concevoir un système capable de répondre durablement aux besoins énergétiques d'une habitation, tout en tenant compte des spécificités locales et des ressources disponibles.

L'importance croissante des systèmes photovoltaïques dans la transition énergétique a été mise en évidence, ainsi que les défis associés à leur dimensionnement. Cette étude a montré que les systèmes photovoltaïques offrent des solutions durables et des opportunités pour répondre efficacement aux besoins énergétiques. Les analyses ont permis de dimensionner un système approprié, intégrant 14 modules photovoltaïques de 300 Wc et 12 batteries, en réponse à un besoin énergétique estimé à 13 240 Wh/j.

Les simulations réalisées avec le logiciel PVsyst ont non seulement validé ces résultats, mais ont également mis en lumière la précision et la fiabilité de cet outil par rapport à l'approche analytique. En effet, PVsyst a permis d'affiner les dimensions du système en tenant compte de divers paramètres spécifiques, offrant ainsi une solution plus optimale et adaptée aux conditions réelles d'exploitation. En conclusion, bien que l'approche analytique ait été utile, l'utilisation de PVsyst s'est révélée supérieure pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

L'alliance de méthodes analytiques et de simulations représente une approche solide pour développer des solutions énergétiques autonomes et respectueuses de l'environnement. Ce travail démontre que l'intégration des systèmes photovoltaïques dans les habitations peut jouer un rôle clé dans la réduction de la dépendance énergétique et la promotion d'un mode de vie durable.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- [1] : Daniel Suchet et Erik Johnson. "L'énergie solaire photovoltaïque". 22 juin 2023.
- [2] : Wikipédia. "Énergie renouvelable". (2024).
- [3] : Moussa, M., & Zahir, A. "Solar Energy Utilization: Potential and Applications". Energy Reports, 7, 123-134. (2021).
- [4] : Connaissance des Énergies. "L'exploitation de l'énergie solaire". 25 juin 2024.
- [5] : François Cochez. "Types de cellules photovoltaïques". 27 avril 2021.
- [6] : Julia Richard. "Histoire du photovoltaïque". 4 septembre 2024.
- [7] : Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Zou, J. "Solar cell efficiency tables" (version 35). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 18(1), 1-12. (2010).
- [8] : Pascal Caillet. "La cellule photovoltaïque : comment ça marche ?" 17 juin 2021.
- [9] : Abada, S. "Étude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic". Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec. (2011).
- [10] : Lahlah, Sa. "Étude comparative des techniques MPPT Perturbation et Observation (P&O), Incremental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C)". Mémoire de magister, Université de Batna. (2007).
- [11] : Fahad Maoulida, Mohamed Aboudou Kassim. "Modélisation d'un module photovoltaïque de type BP SX 150 pour la génération d'énergie électrique". Juin 2020.
- [12] : Énergie+ Le Site. "Rendement et puissance crête des cellules photovoltaïques". Énergie+, 2023.
- [13] : Salim Arab, Dalila Toudert. "Étude d'un Système Photovoltaïque". Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO). (2017).
- [14] : Boukhelif, Hamza. "Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300 kW". Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdes. (juin 2017).
- [15] : Matallah, Sorya. "Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla". Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla. (7 juin 2015).
- [16] : Bellala, Djamel. "Contribution à l'optimisation des systèmes de conversion d'énergie. Application aux systèmes photovoltaïques". Thèse de Doctorat, Université de Batna.
- [17] : "Généralités sur les énergies renouvelables". Chapitre I, univ-tiaret.dz. (2017).
- [18] : Chirifi Oussama, Madache Hamza. "Étude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière". Mémoire de Master II professionnel en génie mécanique, UMMTO. (2013).
- [19] : Labouret, A., & Viloz, M. "Énergie solaire photovoltaïque". 3e édition, Édition Dunod. (2005).
- [20] : Kerouche, Ahcene. "Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour une maison autonome". Mémoire de Master, UMMTO. (2021).

Références bibliographiques

- [21] : Ricaud, A. "Modules et systèmes photovoltaïques". (septembre 2008).
- [22] : Brigand, S. "Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque". Complément Technique, Techniques de construction, Éditions du Moniteur. (mars-avril 2008).
- [23] : Nkouimi, M. J. T. "Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques". Mémoire de fin d'études, École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé. (2000-2010).
- [24] : Kellogg, Gage. "What is PVsyst? Comprehensive Guide 2023". Partner ESI. (2023).
- [25] : Nebbali, Rafik Belabed. "Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque". UMMTO. (2017).
- [26] : Djebra, Said. "Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque associée à une gestion de l'énergie". Mémoire de Master II en énergie renouvelable en électrotechnique, UMMTO. (2023).
- [27] : ENF Solar. "Fiche technique des panneaux solaires cristallins". Consulté le 30 juin 2024.
- [28] : Priddle, Robert. "Énergie et développement durable". (1999).
- [29] : Romain P. "Comment investir dans les énergies renouvelables solaires". 16 juillet 2023.