

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Électrotechnique
Spécialité : **Energies Renouvelables**

Présenté par

Lydia AMMAD

Thème

Dimensionnement et Simulation par PVsyst d'une Habitation Située à Mostaganem Alimentée par Panneaux Photovoltaïques

Mémoire soutenu publiquement le 27 /06 / 2024 devant le jury composé de :

M Mohamed Lamine HAMIDA

Maître de Conférences Classe A, UMMTO, Président

M Mustapha ZAOUIA

Professeur, UMMTO, Encadrant

M Chafik BIROUCHE

Maître Assistant UMMTO, Examineur

Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère et profonde gratitude envers toutes les personnes qui m'ont soutenue et aidée à mener ce travail à terme.

*Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement Monsieur **ZAOUIA Mustapha**, mon promoteur, pour son soutien indéfectible, ses remarques judicieuses, sa patience infinie et ses conseils éclairés tout au long de mon projet. Ses orientations ont été d'une aide précieuse pour comprendre les complexités de celui-ci.*

Mes remerciements vont aussi à ceux qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail, le président de jury et l'examineur.

Dédicaces

*À mon très **cher père**, le plus bienveillant de tous, tes conseils éclairés ont toujours orienté mes pas vers la réussite. Ta patience infinie et ton soutien constant sont pour moi des piliers indispensables. Je te suis profondément reconnaissante pour ce que je suis aujourd'hui, je ferai de mon mieux pour rester ta fierté.*

*À ma merveilleuse étoile, ma très **chère mère**, tu m'as comblée de Tendresse et d'affection tout au long de mon parcours. Ta présence à mes côtés a toujours été un soutien précieux. En ce jour mémorable, je t'offre ce travail en signe de ma profonde reconnaissance et de mon estime sincère.*

*À mes très chers frères **Rezak** et **Lamine**, je tiens à vous exprimer mes sincères remerciements pour votre soutien continu, vos encouragements et votre amour inconditionnel. Votre présence a été pour moi une source de motivation essentielle. Chacun d'entre vous a été d'une valeur inestimable, m'aidant à chaque étape du processus. Votre générosité et votre gentillesse ont fait une telle différence dans ma vie et je vous suis très reconnaissante de vous avoir à mes côtés. Merci encore à vous deux pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

À toute ma famille

À tous mes amis proches

À toutes les personnes que je connais de près ou de loin.

Lydia

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description des panneaux photovoltaïques et site isolé	
I. 1 Introduction.....	3
I. 2. Energie solaire.....	3
I. 2.1. Rayonnement solaire.....	3
I .2.1.1 Différents type de rayonnement	4
I.2.2. Energie solaire thermique.....	4
I .2.2.1 Type des systèmes solaire thermique.....	5
I .2.2 .2. Principe de fonctionnement de l'énergie thermique.....	5
I.2.3. Energie photovoltaïque	6
I.3. Générateurs photovoltaïques.....	6
I.3.1. Cellule photovoltaïque.....	7
I.3.1.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	7
I. 3 .1.2. Différents types de cellules photovoltaïques.....	8
I.3.1.3. Caractéristiques de la cellule photovoltaïque.....	10
I.3.2. Module photovoltaïque.....	11
I.3.2.1. Association des cellules en série	11
I.3.2.2. Association des cellules en parallèle.....	12
I.3.2.3. Caractéristique d'un module ou d'un panneau photovoltaïque.....	13
I .3.2.4. Influence de la température et de l'éclairement.....	14
I .4. Installation photovoltaïque en site isolé	16
I.4.1. Définition et constitution d'une installation photovoltaïque en site isolé.....	16
I.4.2.1. Panneau photovoltaïque du site isolé.....	16
I.4.2.2. Batterie.....	17
I.4.2.3. Capacité.....	19
I.4.2.4. Profondeur de décharge.....	19
I.4.2.5. Autonomie et durée de vie de la batterie.....	20
I.4.2.6. Charge à courant et à tension constants Batterie.....	21
I .4.2.7. Mise en série et parallèle des batteries... ..	21
I.4.3. Régulateur.....	22
I.4.3.1. Régulateur modulation de largeur d'impulsion MLI	23
I.4.3.2. Régulateur MPPT	24
I.4.4. Onduleur	25

I.4.4.1. Gammes et topologies d'onduleur.....	25
I .4.4.2. Critère de choix d'un onduleur.....	25
I .4.4.3.Dimensionnement de l'onduleur	26
I.5. Conclusion.....	27

Chapitre II : Etude et dimensionnement d'une installation

Photovoltaïque isolée

II .1. Introduction	28
II.2. Gisement solaire en Algérie.....	28
II.3. Latitude	29
II.4. Inclinaison.....	30
II.5. Angle d'incidence.....	31
II.6. Etapes pour dimensionner l'installation.....	31
II.7. Présentation du site isolé.....	33
II.8. Calcul des puissances et énergies pour les besoins énergétiques.....	35
II.8.1.Calcul de l'énergie de la consommation journalière.....	35
II.8.2. Calcul de la consommation globale.....	35
II.9. Calcul des besoins énergétique du site isolé.....	36
II.9.1. Calcul des besoins énergétique de l'appartement.....	36
II.9.2. Energie journalière totale réelle consommée par habitation.....	37
II.10. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques.....	37
II.10.1.Puissance crête des générateurs photovoltaïques.....	37
II.10.2.Nombre de panneaux photovoltaïques.....	39
II.11.Dimensionnement des batteries.....	41
II.11.1. Capacité de la batterie.....	42
II.11.2. Nombre de batteries en série.....	43
II.11.3. Nombre de batteries en parallèle.....	43
II.12. Dimensionnement du régulateur.....	43
II.13. Dimensionnement de l'onduleur.....	44
II.14. Dimensionnement des câbles.....	45
II.14.1. Branchement des panneaux photovoltaïques à la boîte de raccordement.....	45
II.14.2.Branchement entre la boîte de raccordement et le régulateur.....	46
II.14.3.Branchement entre le régulateur et l'onduleur.....	46
II.15.Conclusion.....	48

Chapitre III : Simulation d'un système photovoltaïque isolé

III.1.Introduction.....	49
III.2.Description du Logiciel PVsyst.....	49
III.3.Etape de la simulation de l'ensemble PV-site isolé.....	49
III.3.1.Choix du système d'alimentation à étudier du projet.....	50
III.3.2.Désignation du projet.....	50
III.3.3.Données Météorologiques mensuelles du site Mostaganem	51
III.3.4.Diagramme de la trajectoire du soleil du site Mostaganem.....	51
III.3.5.Définition de l'orientation des panneaux photovoltaïques.....	52
III.3.6.Evaluation des besoins énergétiques électriques.....	52
III.3.7. Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	54
III.3.8.Dimensionnement du parc de batteries.....	55
III.3.9.Schéma simplifié du système photovoltaïque isolé considéré.....	55
III.4.Résultats de simulation.....	56
III.4.1.Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ en fonction des irradiances et de la température.....	57
.....	57
III.5.Rapport de la simulation et discussion.....	58
III.6.Conclusion.....	61
Conclusion générale.....	62
Références Bibliographiques.....	64

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, avec l'épuisement progressif des ressources énergétiques fossiles non renouvelables, il est impératif de trouver des alternatives viables. Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, offrent une solution durable pour répondre à la demande croissante en électricité. Parmi ces alternatives, l'énergie solaire photovoltaïque se démarque comme l'une des plus prometteuses, en raison de sa disponibilité illimitée et de son impact écologique positif. Le principe de l'énergie photovoltaïque repose sur la conversion directe du rayonnement solaire en électricité, grâce à des cellules photovoltaïques basées sur l'effet photovoltaïque. Ce processus physique permet de capturer une partie du flux solaire et de le convertir efficacement en énergie électrique, offrant ainsi une source d'électricité propre et facilement exploitable. L'essor actuel de l'énergie solaire photovoltaïque témoigne de son potentiel à répondre aux besoins énergétiques tout en préservant l'environnement. Son développement continu ouvre la voie à une transition vers un avenir énergétique plus durable et respectueux de notre planète [1] [2].

Nous proposons dans ce travail d'étudier et de dimensionner une installation photovoltaïque pour alimenter un site isolé qui représente une habitation située à kharrouba section 223, lot 396, îlot N 38 Dans la willaya de Mostaganem.. Pour structurer notre travail de manière efficace, nous avons décidé de le diviser en trois chapitres distincts.

Dans le premier chapitre, nous aborderons les aspects généraux de l'énergie solaire, en décrivant la composition et le fonctionnement des panneaux photovoltaïques (PV). Nous explorerons également les composants essentiels d'un système autonome alimenté par des panneaux photovoltaïques, notamment les panneaux eux-mêmes, les batteries de stockage de l'énergie, les régulateurs et les onduleurs. Cette partie permettra de donner une idée sur l'énergie solaire photovoltaïque et les éléments clés nécessaires au bon fonctionnement d'un site isolé.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude et au dimensionnement d'une installation photovoltaïque isolée. Ce dimensionnement se traduira par le calcul de l'énergie journalière consommée par les appareils électriques du site à étudier et déterminer la puissance crête et le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires pour alimenter ce site ainsi que le nombre de batterie de stockage. Un dimensionnement du régulateur et de l'onduleur et un calcul des

sections des câbles alimentant ces composants seront effectués.

Dans le troisième chapitre on abordera la simulation de l'ensemble du site isolé et panneaux photovoltaïques à l'aide du logiciel de dimensionnement PVsyst. Cette simulation impliquera l'entrée de données essentielles telles que les puissances des récepteurs pour calculer l'énergie journalière consommée et la puissance du champ photovoltaïque du site isolé. Les résultats obtenus seront analysés et discuté.

Enfin nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I

Description des panneaux

Photovoltaïques et site isolé

I. 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous commencerons par une introduction générale sur l'énergie solaire, une ressource essentielle pour le bon fonctionnement des panneaux photovoltaïques. Ensuite, nous explorerons la structure et le fonctionnement des cellules photovoltaïques ainsi que des panneaux solaires. Nous aborderons également les techniques de connexion en série et en parallèle des cellules pour former des panneaux solaires, en mettant en lumière leurs caractéristiques distinctives. De plus, nous décrirons le principe de fonctionnement d'un site isolé alimenté par des panneaux photovoltaïques, ainsi que les principaux composants qui le constituent.

I. 2. Énergie solaire

L'énergie solaire représente une ressource énergétique abondante et propre, essentielle pour le fonctionnement des panneaux photovoltaïques. Grâce à diverses technologies comme les cellules photovoltaïques et les capteurs solaires, cette énergie est convertie en électricité ou en chaleur. Les cellules photovoltaïques transforment directement la lumière solaire en énergie électrique, tandis que les capteurs solaires concentrent les rayons du soleil pour produire de la chaleur intense utilisée pour générer de l'électricité. En somme, l'énergie solaire se divise en deux types principaux : l'énergie solaire thermique, qui exploite la chaleur et l'énergie solaire photovoltaïque, qui transforme la lumière en électricité [3].



Figure. I.1. Energie solaire.

I. 2.1. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire englobe toutes les radiations électromagnétiques émanant du Soleil. Il comprend une variété de rayonnements, allant de l'ultraviolet lointain, tel que les rayons gamma,

jusqu'aux on des radios, en passant par la lumière visible. En somme, le rayonnement solaire est une combinaison de différentes longueurs d'onde qui nous parviennent du Soleil. Le rayonnement solaire reçu sur Terre varie en raison de fluctuations dans l'activité solaire et des changements saisonniers, ainsi que des variations naturelles et humaines de la nébulosité [4].



Figure I. 2. Rayonnement solaire.

I.2.1.1. Différents type de rayonnement

Il se divise en plusieurs composantes essentielles [4]:

- **Le rayonnement direct du soleil:** C'est le rayonnement qui arrive sans diffusion.
- **Le rayonnement diffus:** C'est le rayonnement qui se diffuse à travers l'atmosphère les aérosols et les nuages et se répand dans toutes les directions.
- **Le rayonnement réfléchi « Albédo »:** C'est le rayonnement réfléchi par la terre, renvoyé par la Surface terrestre et influencé par la nature du sol.
- **Le rayonnement solaire global:** C'est la somme des rayonnements directs, diffus et réfléchi.

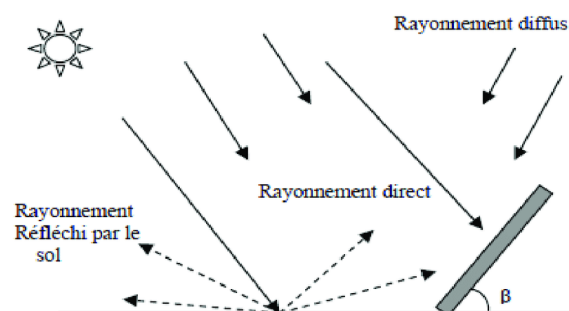


Figure I. 3. Composantes de rayonnement solaire

I.2.2. Énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est l'énergie thermique du rayonnement solaire. Ce processus implique la capture des rayons solaires, particulièrement de la chaleur qu'ils transportent, à l'aide de

panneaux photovoltaïques pour les convertir en électricité, qui peut être intégrée au réseau énergétique via des onduleurs. Les systèmes solaires thermiques comprennent généralement des capteurs solaires avec deux éléments principaux : des réflecteurs, tels que des miroirs, qui concentrent la lumière solaire sur un récepteur, et un dispositif de stockage de l'énergie thermique [3].

I.2.2.1. Types des systèmes solaire thermiques

Il existe plusieurs types de systèmes solaires thermiques à concentration notamment [1]:

- **Les systèmes à concentration linéaire** : utilisent des miroirs linéaires pour chauffer des tubes récepteurs.
- **Les tours solaires** : des miroirs concentrent la lumière sur un récepteur au sommet d'une tour pour générer de la vapeur et produire de l'électricité.
- **Les systèmes de paraboles** : utilisent des paraboles individuelles pour concentrer la lumière sur un récepteur focal.
- **Les systèmes de collecteur parabolique** : utilisent des miroirs paraboliques pour concentrer la lumière sur un tube récepteur.

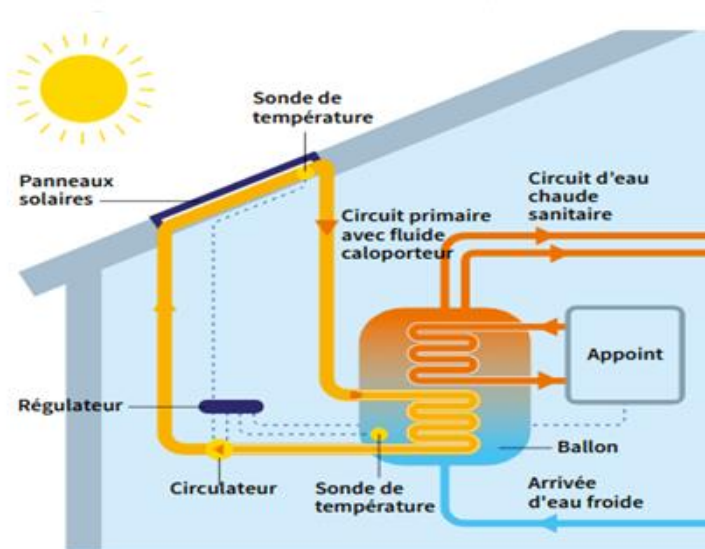


Figure. I.4. Système solaire thermique.

I.2.2.2. Principe de fonctionnement de l'énergie thermique

Le fonctionnement de l'énergie solaire thermique repose sur la captation du rayonnement solaire par des cellules photovoltaïques tout au long de la journée. Ce rayonnement traverse une plaque de verre transparente, permettant de maximiser la capture des rayons du soleil. Une fois passés à travers cette

plaque, les rayons sont absorbés par une plaque de métal noire, spécialement conçue pour optimiser l'absorption du rayonnement solaire et convertir une grande partie de l'énergie lumineuse en chaleur. La chaleur produite est ensuite transférée à un circuit d'eau, augmentant la température de l'eau circulant dans ce circuit, alimentant ensuite un circuit secondaire qui fournit de l'eau chaude ou du chauffage à une habitation, le processus transforme ainsi la lumière en chaleur à différentes températures [1].

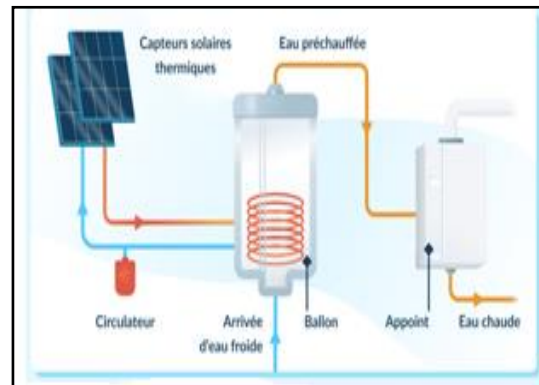


Figure. I.5. principe de fonctionnement de l'énergie thermique.

I.2.3. Énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque base sur l'effet photoélectrique. Les cellules photovoltaïques convertissent directement l'énergie solaire en énergie électrique sous forme de courant continu. Ce courant peut être utilisé directement pour alimenter des appareils conçus à cet effet, ou bien transformé en courant alternatif à l'aide d'un onduleur.

L'énergie photovoltaïque convient à tous types d'installations électriques, dans une installation autonome, le système de production (système PV) est associé à un système de stockage généralement des batteries au plomb). On peut également réinjection l'énergie produite dans le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation [4], [5].

I.3. Générateur photovoltaïque

Les générateurs photovoltaïques, également connus sous le nom de panneaux solaires, captent la lumière du soleil pour en extraire l'énergie et la convertir en électricité de manière plus efficace. Au cœur de ces générateurs se trouvent les cellules photovoltaïques, des dispositifs présents sur le panneau solaire, qui effectuent directement la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique. Ces cellules sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui libèrent des électrons lorsqu'ils sont exposés à l'énergie du soleil. Cette libération d'électrons engendre la production d'un courant électrique, permettant ainsi de transformer l'énergie solaire en une forme d'énergie utilisable [6].

I.3.1. Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un dispositif essentiel dans la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Son fonctionnement repose sur un matériau semi-conducteur qui réagit à la lumière en produisant un courant électrique. Ce processus complexe se déroule en trois étapes:

- **Absorption des photons** : Lorsque la lumière du soleil frappe la cellule photovoltaïque, les photons sont absorbés par le matériau semi-conducteur.
- **Conversion d'énergie** : L'énergie des photons est alors convertie en énergie électrique, déclenchant la création d'une paire électron/trou dans le matériau semi-conducteur. Cela crée un déséquilibre de charges électriques, générant ainsi un courant électrique.
- **Collecte des charges** : Les électrons libérés par la conversion d'énergie sont collectés par des électrodes spéciales à l'intérieur de la cellule, tandis que les "trous" restants se déplacent vers une autre électrode. Ce processus de collecte des charges électriques permet d'extraire efficacement le courant électrique.

Les cellules photovoltaïques sont principalement fabriquées à partir de semi-conducteurs à base de silicium, qui sont les matériaux les plus utilisés dans cette technologie. Lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil, ces semi-conducteurs produisent une tension relativement faible, généralement comprise entre 0,5 et 0,6 volts. Cette tension peut être combinée avec d'autres cellules pour produire des niveaux de tension plus élevés adaptés à diverses applications [6].

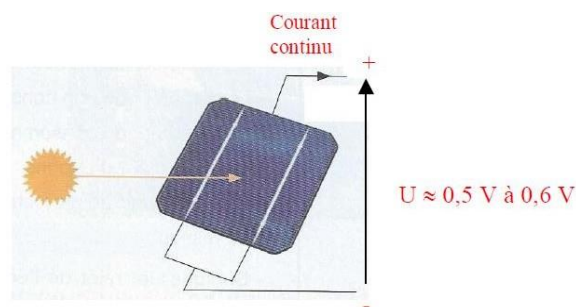


Figure .I.6 .cellule photovoltaïque

I.3.1.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est composée de deux couches de silicium, l'une dopée avec du bore (de type P) et chargée positivement, et l'autre dopée avec du phosphore (de type N) et chargée négativement. Cette configuration crée une jonction PN qui forme une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction PN, libérant ainsi des charges électriques de signes opposés et induisant une différence de potentiel (ddp) mesurable entre les bornes positives et négatives de la cellule [6].

Le schéma équivalent de cette cellule photovoltaïque est illustré dans la figure ci-contre.

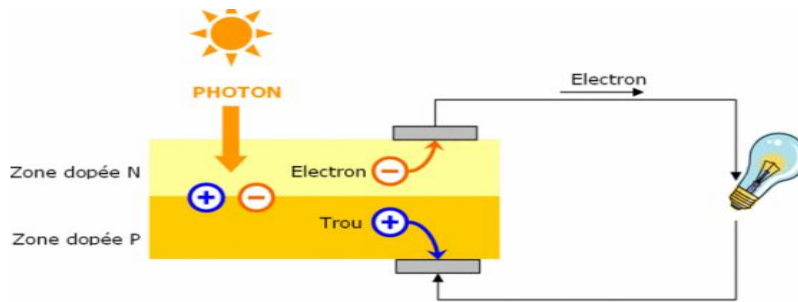


Figure. I.7. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I. 3 .1.2. Différents types de cellules photovoltaïques:

Il existe généralement trois types de cellules photovoltaïques :

➤ **Cellules au silicium monocristallin**

Lors d'un refroidissement lent et contrôlé, le silicium se solidifie pour former un seul cristal, ce qui lui vaut le nom de silicium monocristallin. Les cellules issues de ce processus se distinguent par leur forme pentagonale et leur couleur noire correspondante. Le silicium monocristallin affiche un rendement plus élevé, généralement compris entre 12 et 18 %. Toutefois, il est plus coûteux que le poly-cristallin et sa durée de vie est estimée entre 20 et 30ans [6], [7].



Figure. I.8. Cellules monocristallines

Tableau 1.1: les avantages et les inconvénients de silicium monocristallin [7]

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> - Bon rendement, de 12% à 18%. - Bon ratio Wc/m^2 (environ $150 Wc/m^2$) ce qui permet un gain de place si nécessaire. - Nombre de fabricants élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé. - Rendement faible sous un faible éclairement.

➤ Cellule au silicium poly cristallines

Les cellules poly cristallines sont produites lorsque le silicium se refroidit pour former plusieurs cristaux, donnant aux cellules une apparence bleue non uniforme avec des motifs distincts. Malgré un rendement légèrement inférieur sous un faible éclairage, elles offrent un bon rendement d'environ 100WC/m² et une durée de vie similaire à celle des cellules monocristallines. De plus, elles sont moins coûteuses à produire, ce qui en fait une option attrayante sur le plan financier [7] .

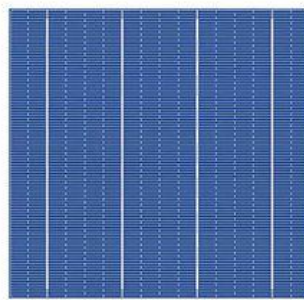


Figure. I.9. Cellule poly cristallines

Tableau 1.2: les avantages et les inconvénients de silicium poly cristallin [7]

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cellule carrée permettant un meilleur foisonnement dans un module ; ➤ Moins cher qu'une cellule monocristalline. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Un rendement moins bon qu'une cellule monocristalline : 11% à 15%. ➤ Ratio Wc/m^2 moins bon que pour le monocristallin (environ 100 Wc/m^2). ➤ Rendement faible sous un faible éclairage.

➤ Cellule au silicium amorphe

Sont de forme carré et de différent de luminosité de noir, son rendement est faible compris entre 6 à 8% qui est dû à la désorganisation de la matière qui est engendrée par la difficulté de déplacement des charges générées. Le coût de production est plus bas et sa durée de vie est faible. Le silicium amorphe possède un processus d'absorption des photons mieux que celui de silicium cristallin, il fonction même au temps couvert et faible de luminosité. Principalement utilisé sur les appareils électroniques comme les calculatrices, les montres...etc. [6] ,[7].



Figure. I.10. Cellules amorphes

Tableau 1.3 : les avantages et les inconvénients de silicium amorphe [7]

Son avantage	Son inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fonctionne avec un éclaircissement faible ou diffus (même par temps couvert). ➤ Un peu moins chère que les autres technologies ➤ Intégration sur supports souples ou rigides. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%. ➤ Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m^2 plus faible, environ $60 Wc/m^2$). ➤ Performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

I.3.1.3. Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

Chaque cellule photovoltaïque présente une courbe courant-tension (I-V) qui montre les différentes configurations électriques possible pour cette cellule. Trois grandeurs physiques caractérisent **cette** courbe [8] :

- La tension de circuit ouvert V_{C0}
- Le courant de court circuit I_{CC}
- Le point de puissance maximale **MPP**

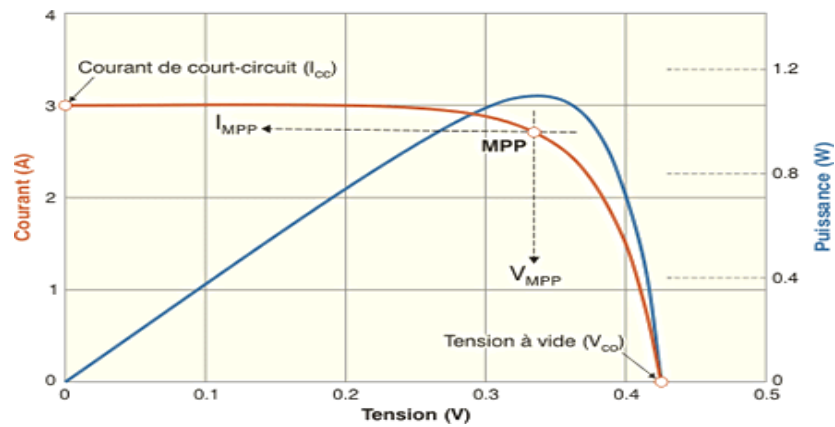


Figure. I.11. Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque

I.3.2. Module photovoltaïque

Par définition, un module photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires assemblées et exposées au rayonnement solaire pour générer une puissance électrique exploitable. En effet, une cellule élémentaire ne produit qu'une très faible puissance électrique moins de 3 W avec une tension de l'ordre d'un volt (1 V) : entre 0,5 et 1,5 V selon les technologies. Alors, les cellules sont associées en série et en parallèle pour former un module photovoltaïque avec une tension et un courant plus élevé afin de produire plus de puissance. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique [17].

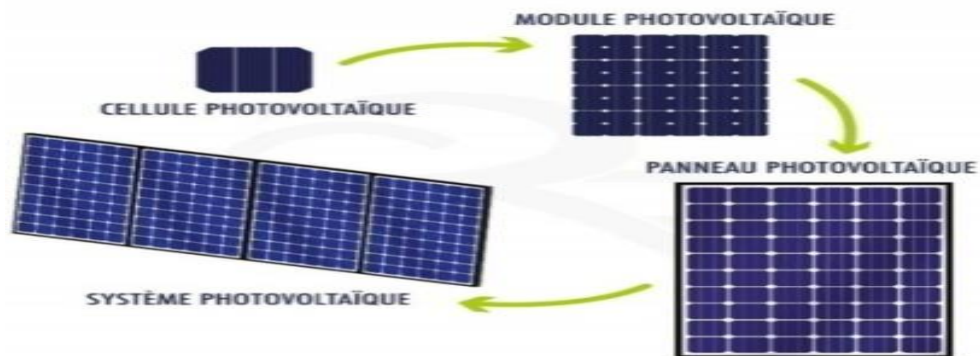


Figure. I.11. Cellule, module, panneau, Système photovoltaïque

I.3.2.1. Association des cellules en série

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Dans cette configuration, les cellules sont traversées par le même courant.

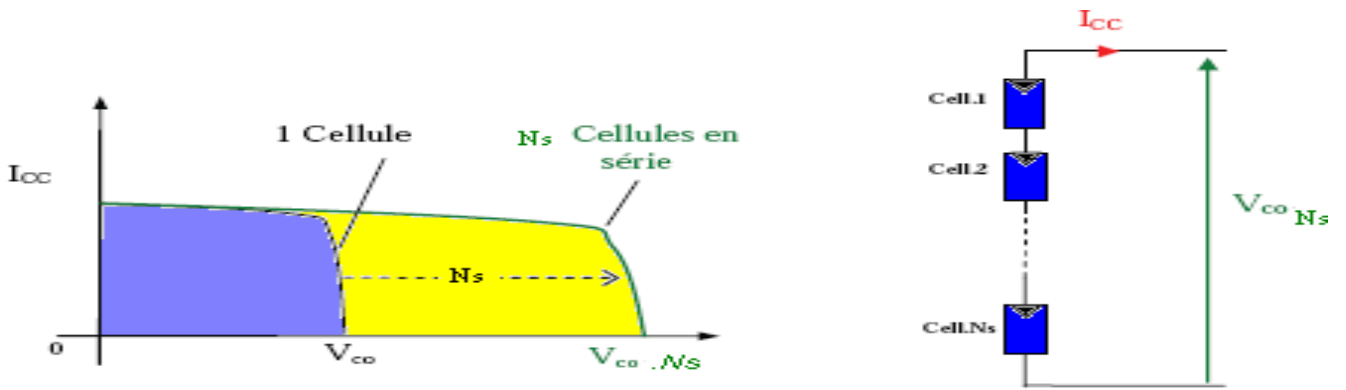


Figure. I.12. Groupement des cellules en série

La caractéristique résultante de ce groupement en série est obtenue par l'addition des tensions élémentaires de chaque cellule, comme illustré à la figure. L'équation (II-1) résume les caractéristiques électriques d'une telle association de ns cellules en série

$$V_{co} = N_s \cdot V_{co} \tag{II-1}$$

Avec :

V_{co} : la tension du circuit ouvert

Ce type d'association en série est généralement le plus couramment utilisé pour les modules photovoltaïques disponibles dans le commerce. À mesure que la technologie évolue, la surface des cellules photovoltaïques augmente, ce qui entraîne une augmentation régulière du courant produit par une seule cellule. Cependant, la tension générée par chaque cellule individuelle reste relativement faible. En associant les cellules en série, on parvient à augmenter la tension globale du module, ce qui permet d'accroître la puissance totale du système [8].

I.3.2.2. Association des cellules en parallèle

D'autre part, une association parallèle de N_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, Figure I-13. L'équation (II-2) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de N_p cellules [8].

$$I_{CC} = N_p \cdot I_{CC}$$

Avec

I_{CC} : le courant de court circuit

(II .2)

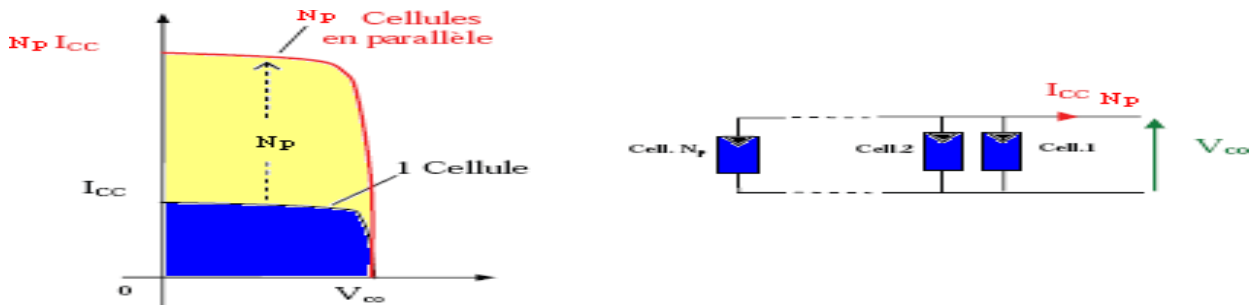


Figure. I.13. Groupement des cellules en parallèle

I.3.2.3. Caractéristiques d'un module ou d'un panneau photovoltaïque

La courbe courant-tension d'un panneau solaire photovoltaïque illustre son comportement électrique Typique .Dans cette courbe, plusieurs points clés sont identifié [8]:

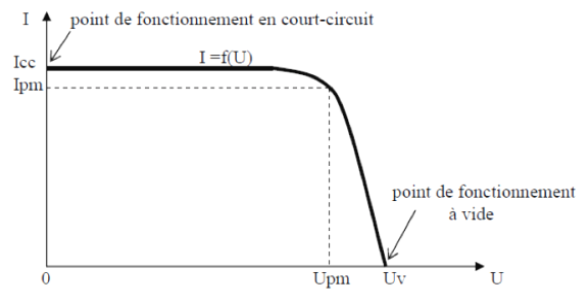


Figure. I.14. Caractéristique I(V) d'un panneau photovoltaïque

- **Puissance crête (Pc)** : Puissance électrique maximale que le module peut fournir dans des conditions standard (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- **Tension à vide (Voc)** : Tension mesurée aux bornes du module en l'absence de courant, sous un éclairement en "plein soleil".
- **Courant de court-circuit (Isc)** : Courant fourni par un module en court-circuit sous un éclairement en "plein soleil".
- **Point de fonctionnement optimum (Vmpp, Impp)** : Point où la puissance de crête est maximale sous un éclairement.
- **Rendement maximal** : Rapport entre la puissance électrique optimale et la puissance de radiation incidente.

- **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale et la puissance maximale que peut délivrer la cellule, soit $V_{oc} ; I_{sc}$

I.3.2.4. Influence de la température et de l'éclairement

La caractéristique d'une cellule photovoltaïque (PV) ou d'un générateur PV dépend directement de l'éclairement et de la température. Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension, pour différents niveaux d'éclairement à une température constante de 25°C, comme le montre la figure I-15, mettent en évidence l'existence de maxima sur les courbes de puissance correspondant aux Points de Puissance Maximale (Pmax). Lorsque l'irradiation change pour une température donnée, le courant de court-circuit (I_{cc}) varie proportionnellement à l'irradiation, tandis que la tension de circuit ouvert (V_{co}) (ou à vide) varie très peu [8].

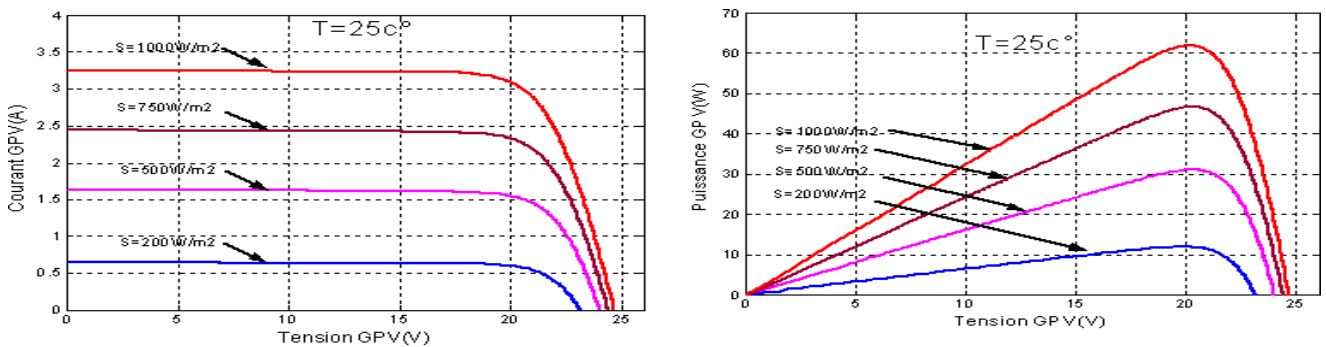


Figure. I.15. Caractéristique I(V) et P(V) d'un PV en fonction de ensoleillements à T=25°C

La température joue un rôle crucial dans le comportement des cellules solaires. Elle influence également les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque (PV). La figure I-16 illustre les variations des caractéristiques d'une cellule PV en fonction de la température, à un éclairement constant de 1000 W/m² [8].

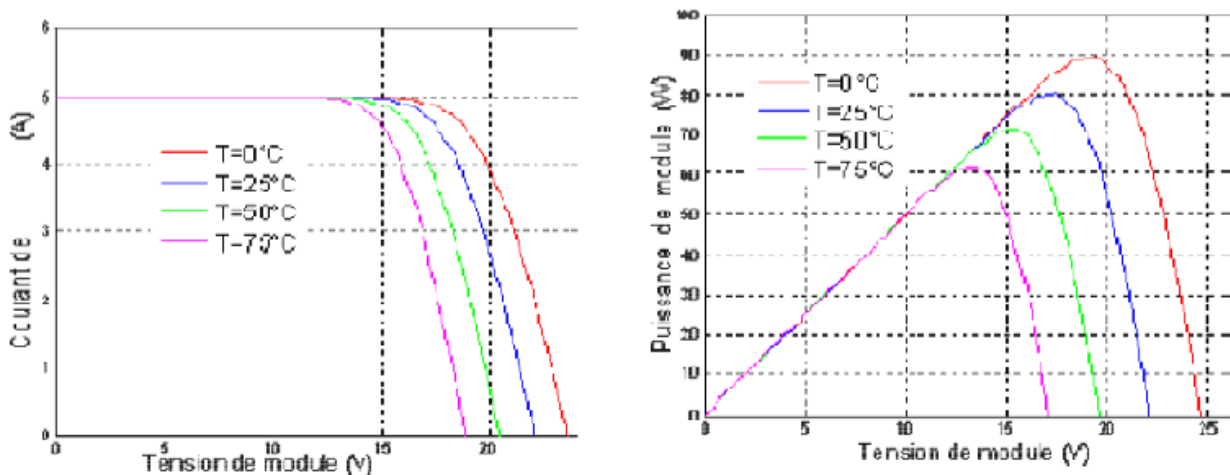


Figure. I.16. Caractéristique I(V) d'un PV en fonction de la température

En revanche, à irradiation constante, une augmentation de la température entraîne une diminution de la tension à vide (V_{co}). Plus la température est élevée, plus V_{co} diminue, tandis que le courant de court-circuit (I_{cc}) augmente avec la température. Cependant, cette augmentation du courant est beaucoup moins significative que la diminution de la tension. Par conséquent, l'influence de la température sur I_{cc} peut généralement être négligée. La température et l'éclairement sont donc les deux principaux paramètres qui modifient les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque (PV). Il est essentiel de les étudier attentivement lors de l'installation d'un système PV [8].

Avantages et inconvénients des panneaux photovoltaïques :

Les panneaux photovoltaïques offrent une série d'avantages et d'inconvénients [9]:

Les avantages des panneaux photovoltaïques sont

- Ils sont écologiquement propres, ne produisant aucune émission polluante en odeur.
- Ils peuvent fonctionner de manière autonome pendant de longues périodes sans surveillance.
- Ils peuvent être intégrés avec d'autres sources d'énergie pour accroître la fiabilité du système.
- Ils résistent bien aux conditions météorologiques difficiles telles que la neige et la glace.
- Ils n'utilisent pas de combustibles fossiles, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre.
- Leur conception modulaire permet une adaptation à divers besoins énergétiques, allant de petites applications à grande échelle.
- La technologie photovoltaïque est respectueuse de l'environnement, silencieuse et non perturbatrice.
- Ils ont une longue durée de vie.
- Ils éliminent les coûts et les risques associés au transport des énergies fossiles.

Les inconvénients des panneaux photovoltaïques sont :

- Le coût élevé de fabrication des modules photovoltaïques en raison de la haute technologie impliquée.
- Un rendement réel des modules photovoltaïques d'environ 30%.
- Un investissement initial important. Une diminution du rendement au fil des années.
- Une production plus faible en hiver, alors que la demande énergétique est souvent plus élevée.
- Une durée de vie moyenne de l'installation photovoltaïque d'environ 20 ans, après quoi son efficacité diminue et peut nécessiter un remplacement.

I.4. Installation photovoltaïque en site isolé

Diverses installation photovoltaïque existent, certaines reliées aux réseaux et d'autres autonomes. Dans notre cas nous nous concentrons sur les sites isolés alimentés par des panneaux photovoltaïques [10].

I.4.1. Définition et constitution d'une installation photovoltaïque en site isolé

Une installation photovoltaïque en site isolé est un système autonome qui utilise l'énergie solaire pour produire de l'électricité dans des lieux sans accès au réseau électrique [10].

Une installation photovoltaïque en site isolé se compose de quatre composants principaux [10]:

- Les panneaux solaires, chargés de convertir l'énergie solaire en électricité pour alimenter la charge et Recharger la batterie
- La batterie, qui stocke l'énergie produite par les panneaux solaires étalière lorsque l'ensoleillement est insuffisant pour répondre à la demande énergétique.
- Le régulateur décharge, chargé de contrôler le flux d'énergie entre les panneaux solaires, la batterie et la charge, afin de protéger la batterie contre la surcharge ou la décharge excessive.
- L'onduleur, dont la fonction est de convertir le courant continu généré par les panneaux solaires et Stocké dans la batterie en courant alternatif utilisable par les appareils électriques.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système, il est nécessaire de connaître la structure technologique.

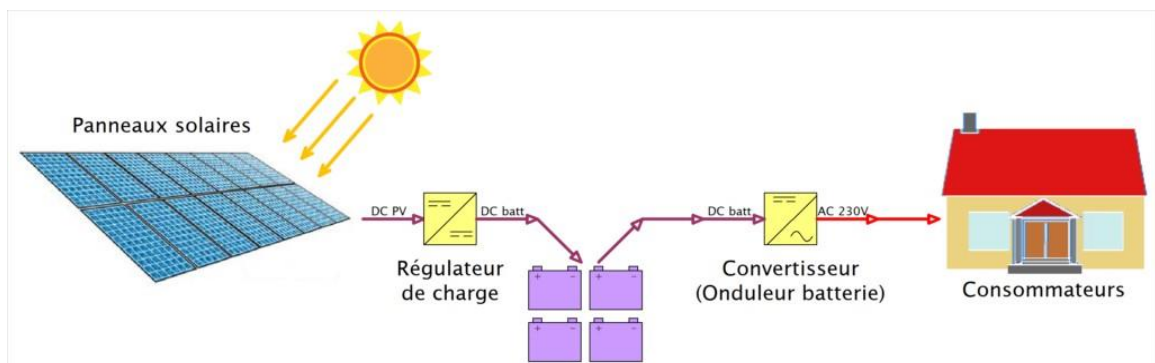


Figure. I.17. Système photovoltaïque autonome

I.4.2.1. Panneau photovoltaïque du site isolé

Un panneau solaire est composé d'une série de cellules individuelles encapsulées dans un support unique. Le nombre de cellules détermine la tension nominale du panneau : par exemple, pour un module contenant de 16 à 20 cellules, la tension nominale est de 6 V, tandis que pour un module de 32 à 40 cellules, elle est de 12 V. La taille des cellules détermine le courant crête qu'elles peuvent fournir : une cellule de 5 cm × 5 cm fournit environ 600 mA, tandis qu'une cellule de 11

cm × 11 cm fournissent environ 2,5 A. Étant donné que les cellules individuelles du module sont interconnectées en série, les tensions et courants qui en résultent suivent les lois des générateurs à courant continu. Le courant de sortie et, par conséquent, la puissance sont proportionnels à la surface du module. La puissance crête d'un panneau solaire, notée P_c , est mesurée aux bornes d'une cellule photovoltaïque dans des conditions de test standard: irradiance solaire de 1000 W/m^2 , masse d'air (AM) égale à 1,5 et température (T) de $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. La puissance crête (P_c) ou la puissance crête standard (W_c) représente la puissance théorique ($P = U \times I$) exprimée en watts qu'un module photovoltaïque peut produire dans des conditions optimales [17].

I.4.2.2. Batterie

La batterie joue un rôle crucial dans un système photovoltaïque en site isolé, car elle permet de stocker l'énergie électrique excédentaire produite par les panneaux solaires. Cette énergie est stockée sous forme chimique dans la batterie. Pendant la nuit ou lorsque l'ensoleillement est insuffisant, c'est la batterie qui fournit l'énergie nécessaire pour alimenter les appareils électriques.

Le dimensionnement du stockage de la batterie est essentiel pour assurer une autonomie suffisante en cas de plusieurs jours consécutifs sans ensoleillement. Il permet de garantir une réserve d'énergie pour couvrir les besoins électriques pendant ces périodes, prenant en compte les facteurs tels que la durée de vie de la batterie et la perte de capacité due au cycle de charge et de décharge. Ainsi, une batterie correctement dimensionnée garantit la fiabilité et la performance continue du système photovoltaïque en site isolé [17].



Figure. I.18. Batterie de stockage solaire.

I.4.2.2.1. Types de batterie

Il existe plusieurs types de batteries, principalement les batteries au plomb acide, les batteries au nickel et les batteries au lithium [11]:

➤ Batteries au plomb-acide :

Nom Plomb-acide vient du fait qu'il contient un liquide qui doit être changé à chaque période. Ce type de batterie est le plus ancien et le plus utilisé. Le coût des accumulateurs au plomb est raisonnable, il est un des plus faibles parmi les systèmes de stockage. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles la batterie au plomb est très utilisée. Ce coût est quasiment incompressible, du fait de la très grande maturité de la technologie. La capacité des batteries ouvertes pour l'énergie solaire varie entre 100 et 500 Ah et leur durée de vie peut atteindre 10 ans. Le taux de recyclabilité de la batterie au plomb atteint pratiquement 100 % ce qui participe aux avantages de ce type d'accumulateur malgré la haute toxicité de son principal matériau, le plomb [11].



Figure. I.19. Batterie au plomb acide

➤ Les batteries utilisent au Nickel- cadmium et Nickel-Métal-Hydrure

Ces deux types de batteries sont similaires et partagent certains avantages et inconvénients. La tension de ces types d'accumulateurs varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Sa capacité varie de 30 mAh à 2000 mAh.
- Sa taille est inférieure à celle des batteries au plomb (par rapport à une capacité standard).
- Disponible en différentes valeurs de tension: 2,4 V, 3,6 V, 4,8 V, 12 V.
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.

Mais les inconvénients de ce type de piles à énergie solaire comprennent:

- Décharge automatique.
- Il est difficile de charger à des températures inférieures à 0°.

Son utilisation reste complexe et coûteuse du fait du stockage de l'hydrogène. Bien que la technologie du Ni-MH est devenue maîtrisable d'où par son utilisation dans divers applications portables [12].



Figure. I.20. Batterie au nickel

➤ Batteries au lithium:

Les Batteries au lithium sont utilisées dans de nombreux appareils, tels que les ordinateurs portables, en raison de leur petite taille et de leur poids léger par rapport à leur capacité. Les bonnes performances en termes de cycles et de plage de régime de décharge font des batteries au lithium un candidat potentiel pour des stockages court terme. Mais leurs nombreux inconvénients (recyclage, coût, performances à hautes températures, sécurité...) n'autorisent son utilisation qu'à très long terme. Il existe trois grandes familles de batteries au lithium : Lithium métallique, Lithium-Ion et Lithium-polymère [11].

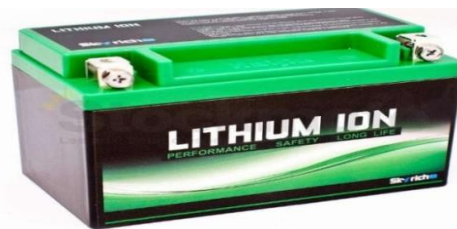


Figure. I.21. Batterie au lithium

I.4.2.3. Capacité

La capacité d'une batterie s'exprime en ampères heures (Ah), c'est la quantité de courant qu'elle peut fournir au cours d'un nombre d'heures précis, à une température de référence. Cette capacité nominale varie dans le même sens que la température de service de la batterie [13].

I.4.2.4. Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager [14]. Quand la profondeur de décharge augmente, le cycle de vie diminue comme la figure suivante montre.

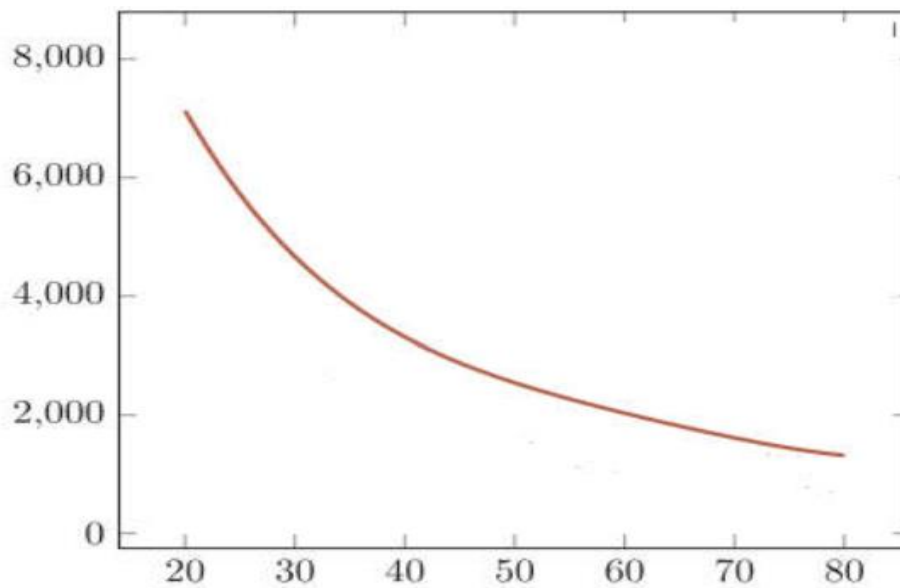


Figure. I.22. profondeur de décharge.

I.4.2.5. Autonomie et durée de vie de la batterie

Lors de la conception d'un système photovoltaïque, il est important de déterminer une durée d'autonomie, qui représente le nombre de jours pendant lesquels les besoins énergétiques peuvent être satisfaits même en cas de mauvais temps. Bien que cette définition semble simple, elle peut entraîner des écarts si elle n'est pas correctement évaluée. Une autonomie excessive, non justifiée par les conditions météorologiques, peut conduire à la recommandation d'un parc de batteries plus important que nécessaire ou d'un champ photovoltaïque sur dimensionné.

Un accumulateur, qu'il soit au plomb-acide, au nickel ou au lithium, peut être chargé et déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ses caractéristiques ne se détériorent. De plus, quel que soit le mode d'utilisation de la batterie, celle-ci a une durée de vie totale exprimée en années, qui représente le nombre de cycles de charge et de décharge complets qu'elle peut supporter avant d'atteindre la fin de sa vie utile.

En résumé, la détermination de la durée d'autonomie d'un système photovoltaïque doit être effectuée avec précision pour garantir une performance optimale et éviter des coûts inutiles liés à une sur-estimation des besoins en énergie ou à une sous-estimation de la durée de vie des batteries [15,17].

I.4.2.6. Charge à courant et à tension constants

➤ La charge à courant constant

La charge à courant constant est une méthode de charge utilisée pour recharger une batterie, où un dispositif de contrôle maintient le courant de charge délivré à la batterie à une valeur constante pré déterminée. Cette méthode peut également impliquer des charges à différents niveaux de courant préprogrammés. Lorsque la batterie est soumise à une charge constante, la tension de la cellule augmente rapidement à mesure qu'elle se rapproche des a pleine charge. En d'autres termes, cette méthode garantit que la batterie reçoit un courant constant pendant la phase de charge, ce qui permet un processus de recharge efficace tout en minimisant les risques de surcharge [16].

➤ Charge à tension constant

La méthode de charge à tension constante implique de charger la batterie à une tension fixe. Cette approche offre différentes variantes selon qu'une limitation du courant de charge est ajoutée au début de la charge, à la fin de la charge, ou même aux deux moments. Ces variantes sont appelées respectivement : charge modifiée à tension constante avec un courant constant au début de la charge, charge modifiée à tension constante avec une phase finale à niveau de courant constant, et charge modifiée à tension constante avec un courant constant au début de la charge et une phase finale à niveau de courant constant.

En d'autres termes, lors de la charge à tension constante, la tension appliquée à la batterie est maintenue constante pendant tout le processus de charge, tandis que le courant peut être limité à différents moments pour optimiser le processus de charge en fonction des besoins spécifiques de la batterie [16].

I .4.2.7. Mise en série et parallèle des batteries

L'association de batteries en série permet d'obtenir des tensions multiples de 12 volts, telles que 24V ou 48V, tandis que l'association en parallèle augmente la capacité. Il est crucial de veiller à ce que les batteries soient identiques, tant en termes de marque, de modèle, de technologie que d'âge et d'utilisation, avant de les mettre en série ou en parallèle. En effet, des différences entre les batteries peuvent entraîner un vieillissement inégal du parc de batteries.

Avant toute opération, il est recommandé de vérifier que les batteries ont une tension similaire à $\pm 0,1V$ près. Si ce n'est pas le cas, il est conseillé de les recharger individuellement avant de les connecter en série ou en parallèle.

➤ Mise en série des batteries

Dans le montage en série, le pôle positif (+) d'une batterie est relié au pôle négatif (-) d'une autre, ce qui double la tension totale. Par exemple, avec deux batteries de 12V, 100Ah, on obtient une batterie de 24V, 100Ah. De même, avec quatre batteries de 12V, 100Ah, on obtient une batterie de 48V, 100Ah [17].

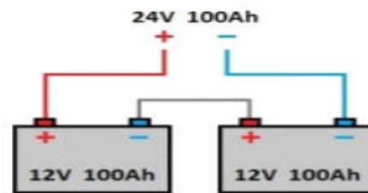


Figure. I.23. Mise en série des batteries.

➤ Mise en parallèle des batteries

Dans le montage en parallèle, les pôles positifs (+) sont reliés ensemble et les pôles négatifs (-) également. Cela double la capacité totale de la batterie. Par exemple, avec deux batteries de 12V, 100Ah, on obtient une batterie de 12V, 200Ah. Et avec quatre batteries de 12V, 100Ah, on obtient une batterie de 12V, 400Ah.

En résumé, l'association en série permet d'augmenter la tension, tandis que l'association en parallèle permet d'augmenter la capacité des batteries, ce qui est essentiel dans la conception de systèmes d'alimentation électrique [17].

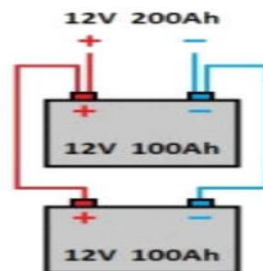


Figure. I.24. Mise en parallèle des batteries

I.4.3. Régulateur

Le régulateur joue un rôle crucial dans la gestion de la charge et de la décharge de la batterie dans un système photovoltaïque. Son objectif principal est d'assurer un transfert optimal d'énergie entre le générateur solaire et la batterie, tout en minimisant la profondeur de décharge et en protégeant la batterie contre la surcharge, qui pourrait entraîner un vieillissement prématuré.

Le régulateur est équipé d'un dispositif de commutation tel qu'un relais, un transistor bipolaire, un transistor Mosfet ou un thyristor, qui est positionné entre le panneau solaire et la batterie. Ce dispositif de commutation est contrôlé par une logique basée sur la surveillance de la tension de la batterie. Il est capable de commuter des courants importants sans générer de dissipation d'énergie interne.

En résumé, le régulateur garantit un fonctionnement efficace et sûr du système photovoltaïque en contrôlant la charge et la décharge de la batterie, tout en protégeant celle-ci contre les dommages causés par la sur charge et en maximisant sa durée de vie [18,19].



Figure. I.25. Représentation d'un régulateur

I.4.3.1. Régulateur modulation de largeur d'impulsion MLI

Le régulateur MLI (Modulation de la Largeur d'impulsion ou PWM : Pulse Width Modulation) gère de façon optimale les connexions et les déconnexions du module au reste du système. Selon l'état de charge de la batterie, il effectue des coupures plus ou moins longues et plus ou moins fréquentes. Cette technologie permet de charger la batterie à 100 % de sa capacité.

Il limite le courant de charge de la batterie à un ampérage constant. Plus la batterie se recharge, plus la tension à ses bornes augmente. A partir d'un certain niveau, le régulateur PWM va alors maintenir une tension constante et produire des impulsions de courant. Ce type de régulateur devient le plus utilisé dans les installations photovoltaïques autonomes [20, 21].

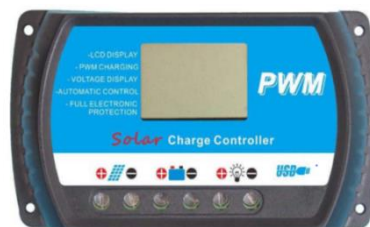


Figure. I.26. Représentation d'un régulateur PMW

I.4.3.2. Régulateur MPPT

Le régulateur MPPT est une commande spéciale pour les systèmes solaires. Son rôle est de maximiser la production d'électricité en ajustant en continu la manière dont les panneaux solaires fonctionnent. Peu importe le temps qu'il fait, cette commande garde le système au niveau optimal de performance. Elle assure que le convertisseur électrique fonctionne toujours à son meilleur niveau, même lorsque les conditions changent [17].

Le régulateur de charge est équipé d'un convertisseur DC/DC à découpage hautement efficace, conçu Pour assurer trois fonctions essentielles :

- **Détection de puissance maximale du champ photovoltaïque :** Le régulateur est capable de surveiller en permanence la puissance produite par les panneaux solaires afin d'optimiser leur rendement. Il ajuste automatiquement les paramètres de fonctionnement pour garantir que le système fonctionne à sa puissance maximale, même dans des conditions variables d'ensoleillement.
- **Conversion statique continue-continue :** Ce convertisseur assure une conversion efficace et continue de l'énergie produite par les panneaux solaires en une forme compatible avec la batterie. Il permet ainsi de transférer l'énergie du champ photovoltaïque vers la batterie de manière stable et efficace, en minimisant les pertes d'énergie pendant le processus de conversion.
- **Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge :** Le régulateur contrôle la tension de sortie du système en fonction de la phase de charge de la batterie. Il ajuste la tension de sortie pour garantir que la batterie est chargée de manière optimale, en évitant la surcharge ou la sous-charge, ce qui contribue à prolonger sa durée de vie et à assurer un fonctionnement fiable du système photovoltaïque.

En résumé, le régulateur de charge joue un rôle crucial dans le fonctionnement efficace et sûr d'un système photovoltaïque en assurant la détection de la puissance maximale du champ solaire, la conversion efficace de l'énergie et la régulation précise de la tension de sortie en fonction des besoins de charge de la batterie.



Figure. I.27. Représentation d'un régulateur MPPT réel

I.4.4.Onduleur

Dans un site isolé, l'onduleur joue un rôle essentiel en convertissant le courant continu provenant des batteries en courant alternatif, permettant ainsi son utilisation avec une variété d'équipements électriques. De plus, un onduleur chargeur est capable de réaliser l'opération inverse, car il est bidirectionnel, convertissant le courant alternatif en courant continu ou vice-versa.

L'onduleur, ou onduleur chargeur, assure non seulement la fourniture continue d'électricité à partir des batteries solaires pour des périodes prolongées, mais il est également capable d'absorber les pics de puissance générés par le démarrage de certains équipements, tels que les moteurs électriques [18, 10]. La figure I.28 présente un onduleur.



Figure. I.28. Représentation d'un onduleur

I.4.4.1.Gammes et topologies d'onduleur

Il existe différentes gammes et topologies d'onduleurs et d'onduleurs chargeurs, chaque un offrant des puissances et des fonctionnalités variées pour répondre aux besoins spécifiques des installations solaires autonomes, même dans des conditions extrêmes. Parmi les principaux types, on trouve [10,17] :

- Les onduleurs modulaires (module inverter)
- Les onduleurs centralisés (central inverter)
- Les onduleurs "String "ou "de Rangée "

I .4.4.2 Critère de choix d'un onduleur

Avant de choisir un onduleur, il est essentiel de s'assurer de plusieurs critères:

- Capacité à démarrer le récepteur: Il est important de vérifier si l'onduleur peut démarrer les Appareils connectés, ce qui peut nécessiter un essai pratique.
- Rendement : L'onduleur doit avoir un rendement suffisant pour assurer le fonctionnement optimal De la charge.
- Tolérance de la charge à la distorsion de l'onde: Certains équipements peuvent être sensibles à la Qualité de l'onde produite par l'onduleur.

- Acceptation des variations de tension: La charge doit pouvoir supporter les variations de tension Générées par l'onduleur.
- Protection contre les surcharges : L'onduleur doit être équipé de mécanismes de protection pour Eviter les surcharges.
- Protection de la batterie: Il est important que l'onduleur soit capable de couper l'alimentation de l'utilisateur en cas de basse tension pour protéger la batterie.

De plus, en cas d'ombrage partiel des modules solaires, l'utilisation de diodes de by-passes commandée pour éviter les pertes. Le choix d'un onduleur doit prendre en compte plusieurs critères, tant au niveau de l'entrée que de la sortie, tels que la puissance maximale, la tension maximale, la plage de tension d'entrée, le nombre maximal de string raccordables, la puissance maximale, la puissance nominale, la tension nominale et la fréquence nominale.

I .4.4.3.Dimensionnement de l'onduleur

Le dimensionnement de l'onduleur est basé sur plusieurs critères essentiels [10] :

- Tension d'entrée: Correspond à la tension des batteries ou du régulateur, généralement de 12, 24 ou 48 volts en courant continu (DC).
- Tension de sortie : En Algérie, la norme pour la tension de sortie est de 220/230 volts à une fréquence de 50Hz en courant alternatif (AC).
- Puissance nominale : Il s'agit de la puissance que les appareils électriques consomment pour fonctionner normalement. Pour déterminer cette puissance nominale, il est nécessaire de calculer la somme des puissances des appareils électriques susceptible les d'être utilisés simultanément. Il est recommandé de choisir un onduleur dont la puissance nominale est légèrement supérieure à celle des appareils pour assurer un fonctionnement optimal et éviter les surcharges.

En tenant compte de ces critères, le dimensionnement de l'onduleur garantit une compatibilité adéquate avec les besoins énergétiques spécifiques de l'installation, assurant ainsi une alimentation électrique fiable et efficace.

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les bases de l'énergie solaire, en examinant la structure et le fonctionnement des cellules et des panneaux photovoltaïques. Nous avons également présenté les composants essentiels d'un système autonome alimenté par des panneaux solaires, notamment les panneaux eux-mêmes, les batteries de stockage, les régulateurs et les onduleurs. En comprenant ces éléments, nous sommes mieux équipés pour comprendre le processus de dimensionnement d'une installation solaire autonome, qui sera abordé dans le prochain chapitre. Ce processus implique le calcul minutieux de tous les paramètres et éléments nécessaires pour garantir que l'installation fonctionne de manière optimale et fiable.

Chapitre II

*Etude et dimensionnement
d'une installation
photovoltaïque isolée*

II .1.Introduction

Dans cette section, nous explorerons les étapes cruciales du dimensionnement d'un système photovoltaïque alimenté par des panneaux photovoltaïques. L'objectif est de créer un système autonome qui produira de l'énergie électrique de manière optimale, en trouvant l'équilibre parfait entre la puissance crête des panneaux solaires et la capacité de la batterie associée. Ce processus de dimensionnement repose sur une analyse approfondie des besoins énergétiques spécifiques de l'utilisateur ou sur un bilan énergétique exhaustif. De plus, il prend en compte les données climatiques et d'ensoleillement du site pour garantir une performance optimale du système. En résumé, notre objectif principal est de déterminer avec précision les besoins et les spécifications de chaque composant de l'installation photovoltaïque.

II.2. Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. L'étude du rayonnement solaire est nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil. Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu. Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure II .1 et II .2 [22 ,23].

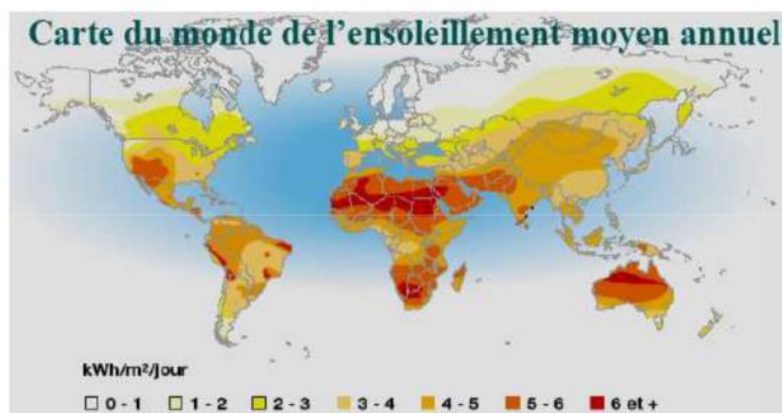


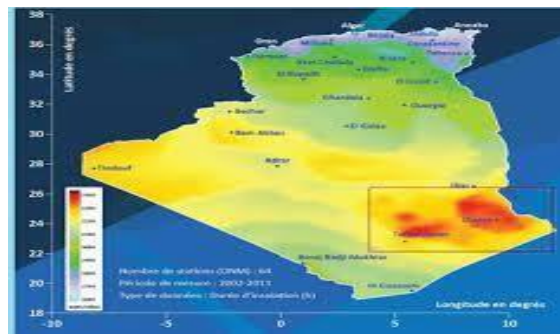
Figure II .1.Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement:

Tableau II.1. Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m² /an au Nord et 2650 kWh/m² /an au Sud du pays [24 ,25].



FigureII .2. Carte du gisement solaire en Algérie

II.3. Latitude

Latitude est une coordonnée géographique essentielle, représentant la position angulaire d'un point sur Terre par rapport à l'équateur, qui sert de référence. Elle varie de 0° à l'équateur jusqu'à 90° aux pôles. Cette mesure angulaire joue un rôle crucial dans le dimensionnement et l'optimisation des installations solaires, car elle influence directement l'ensoleillement reçu par les panneaux photovoltaïques. Ainsi, pour maximiser l'efficacité d'un système solaire, il est impératif de prendre en considération la latitude du site d'installation, ainsi que l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires. En résumé, la latitude est un paramètre clé à prendre en compte pour garantir le rendement optimal d'une installation photovoltaïque, en adaptant sa conception aux conditions spécifiques de chaque lieu [26].

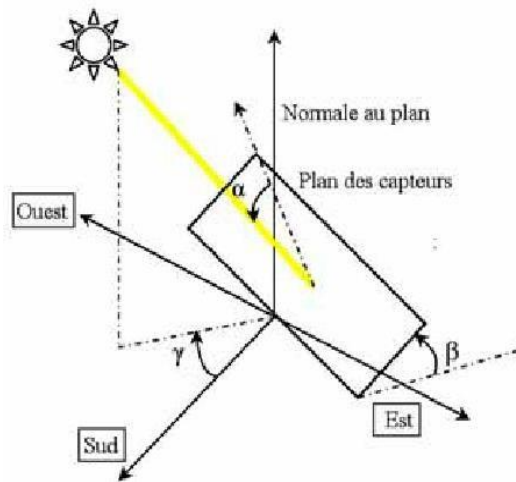


Figure II.3. Les angles pour un plan incliné

II.4. Inclinaison

La performance optimale des panneaux solaires dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires, idéalement à 90°. Cependant, cet angle varie selon la latitude et la déclinaison solaire tout au long de l'année. La Terre étant inclinée d'environ 23,45° par rapport à son orbite autour du Soleil, la hauteur du Soleil dans le ciel varie quotidiennement à une latitude donnée. Ainsi, pour maximiser l'efficacité des panneaux solaires, il est essentiel de prendre en compte ces variations et d'ajuster l'inclinaison des panneaux en conséquence [26].

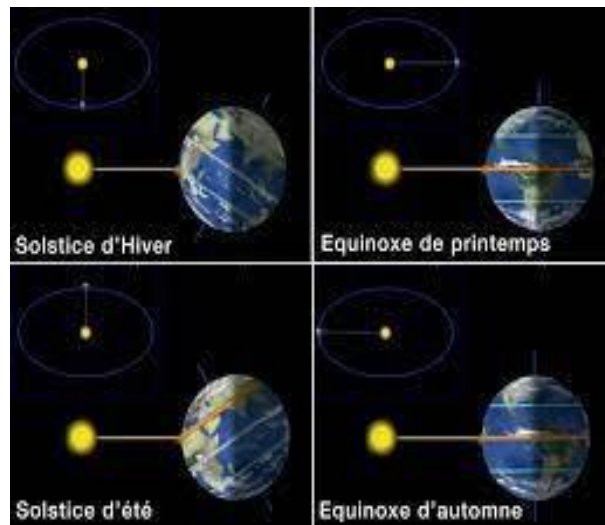


Figure II.4. Position du soleil lors des solstices et équinoxes

Les données du tableau présentent les recommandations d'inclinaison des capteurs photovoltaïques pour maintenir une performance constante tout au long de l'année, en fonction de la latitude géographique. Ces directives visent à optimiser la captation de l'énergie solaire en

ajustant l'angle des panneaux selon les variations saisonnières et les conditions géographiques spécifiques. En suivant ces recommandations, il est possible d'assurer une efficacité maximale de la production d'énergie solaire, ce qui contribue à une utilisation plus efficace et durable des ressources renouvelables[1].

Tableau II.2. Valeurs de l'inclinaison recommandée des capteurs photovoltaïques

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

La mesure de la hauteur du soleil joue un rôle crucial dans l'optimisation de l'énergie solaire. Toutefois, la simple connaissance de l'angle α ne suffit pas à déterminer l'orientation idéale des panneaux solaires. Il est également essentiel de prendre en compte la trajectoire du soleil dans le ciel au fil des saisons. Ainsi, le calcul de l'angle d'inclinaison doit être effectué en considérant l'ensemble des jours de l'année. Cette approche permet d'adapter efficacement l'orientation des panneaux solaires pour maximiser la capture de l'énergie solaire tout au long de l'année, garantissant ainsi une utilisation optimale des ressources renouvelables.

II.5. Angle d'incidence

Lors des solstices d'été dans l'hémisphère Nord et d'hiver dans l'hémisphère Sud, le soleil atteint son point le plus haut au-dessus de l'horizon, bien qu'il ne puisse pas atteindre le zénith. Pour garantir que les rayons solaires touchent perpendiculairement les panneaux solaires à midi lors du jour le plus long de l'année, il est essentiel de déterminer la hauteur maximale du soleil au-dessus de l'horizon à ce moment précis. Cette hauteur maximale peut être calculée en utilisant la formule suivante : $\alpha = 90^\circ - \text{latitude} + \delta$. En comprenant cette notion, il devient possible d'ajuster l'inclinaison des panneaux solaires pour optimiser leur exposition au soleil, ce qui contribue à une meilleure utilisation de l'énergie solaire disponible [1].

II.6. Etapes pour dimensionner l'installation.

Pour dimensionner correctement une installation en site isolé, plusieurs étapes doivent être suivies [18]

- Évaluation des besoins énergétiques journaliers, en se basant sur la période la plus critique où les demandes en énergie est les plus élevées.
- Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour répondre aux besoins journaliers, en prenant en compte l'énergie solaire disponible lors du mois le moins favorable, en fonction de la localisation géographique du site.
- Sélection des modules photovoltaïques appropriés, en tenant compte de différents facteurs tels que la technologie et la tension de fonctionnement.
- Détermination de la capacité du parc de batteries pour assurer une autonomie énergétique souhaitée.
- Sélectionner le ou les convertisseurs (onduleur, chargeur) appropriés afin de fournir la puissance requise pour l'installation.

- Évaluer le coût total du système conçu.

Ces étapes permettent de concevoir et de dimensionner efficacement une installation solaire Autonome , en garantissant une fourniture d'énergie fiable et adaptée aux besoins spécifiques du site.

Les schémas présenté offre une représentation visuelle du processus de dimensionnement d'un système photovoltaïque pour un site isolé ou autonome alimenté par des panneaux solaires. Ce diagramme met en évidence les différentes étapes, telles que l'évaluation des besoins énergétiques, le calcul du nombre de panneaux nécessaires , la sélection des composants tels que les convertisseurs et les Batteries, ainsi que l'estimation des coûts associés. En visualisant ce diagramme, il est plus facile de comprendre la séquence logique et les différentes étapes impliquées dans la conception d'un système photovoltaïque autonome, ce qui facilite sa mise en œuvre efficace et sa gestion ultérieure [18].

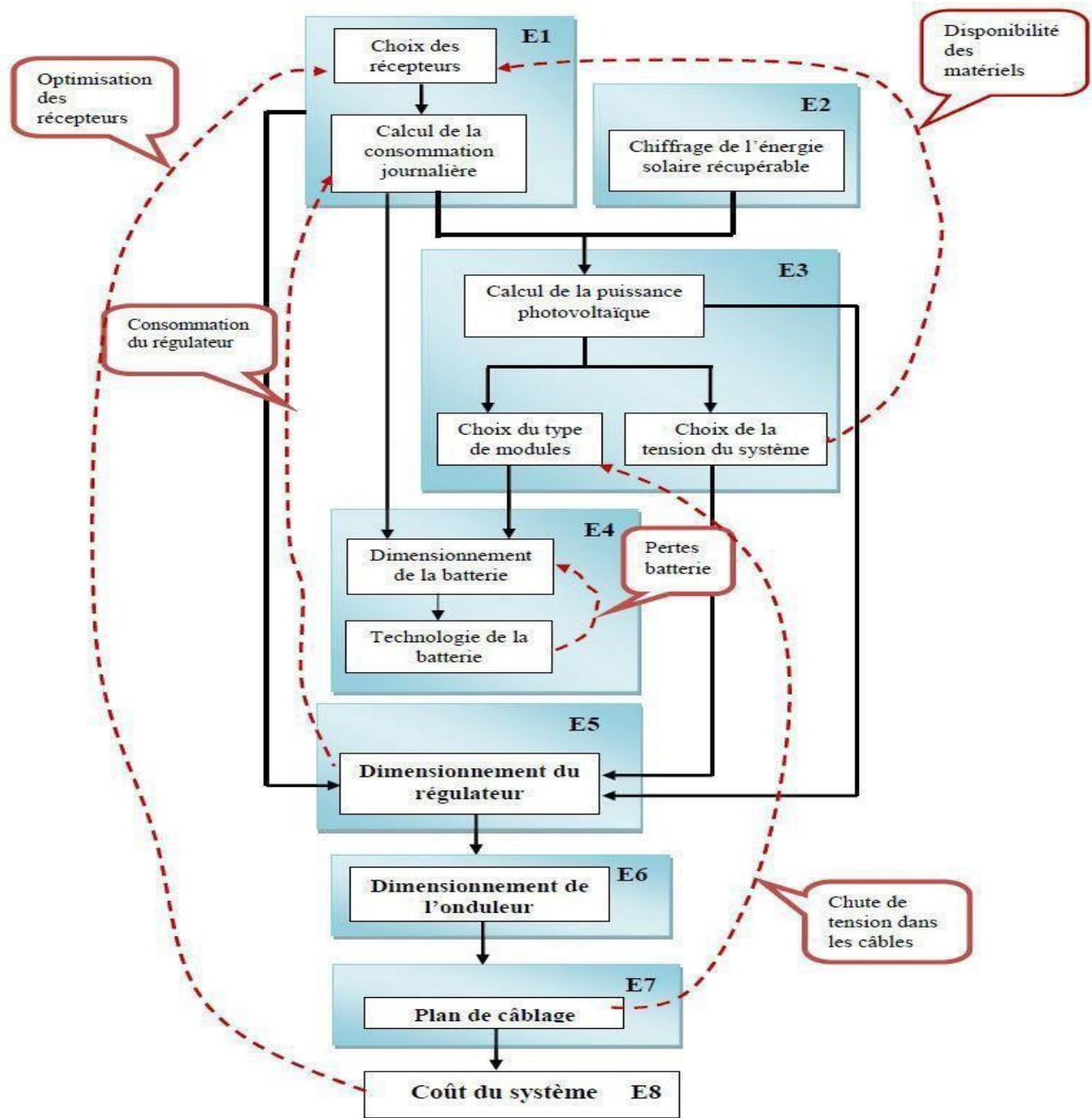


Figure II.5: diagramme simplifié du dimensionnement d'un système PV autonome

II.7. Présentation du site isolé

Dans l'étude que nous présenterons, le site isolé à étudier est une habitation située à Kharrouba, Section 223, Lot 396, Ilot N 38 dans la willaya Mostaganem. Cette habitation est un appartement F3 comprend deux chambres, une cuisine, un salon, un hall, des sanitaires, une salle de bain un balcon et une cuisine Nous proposons d'alimenter ce site en utilisant des panneaux photovoltaïques. La figure ci-dessus montre l'habitation à alimenter.

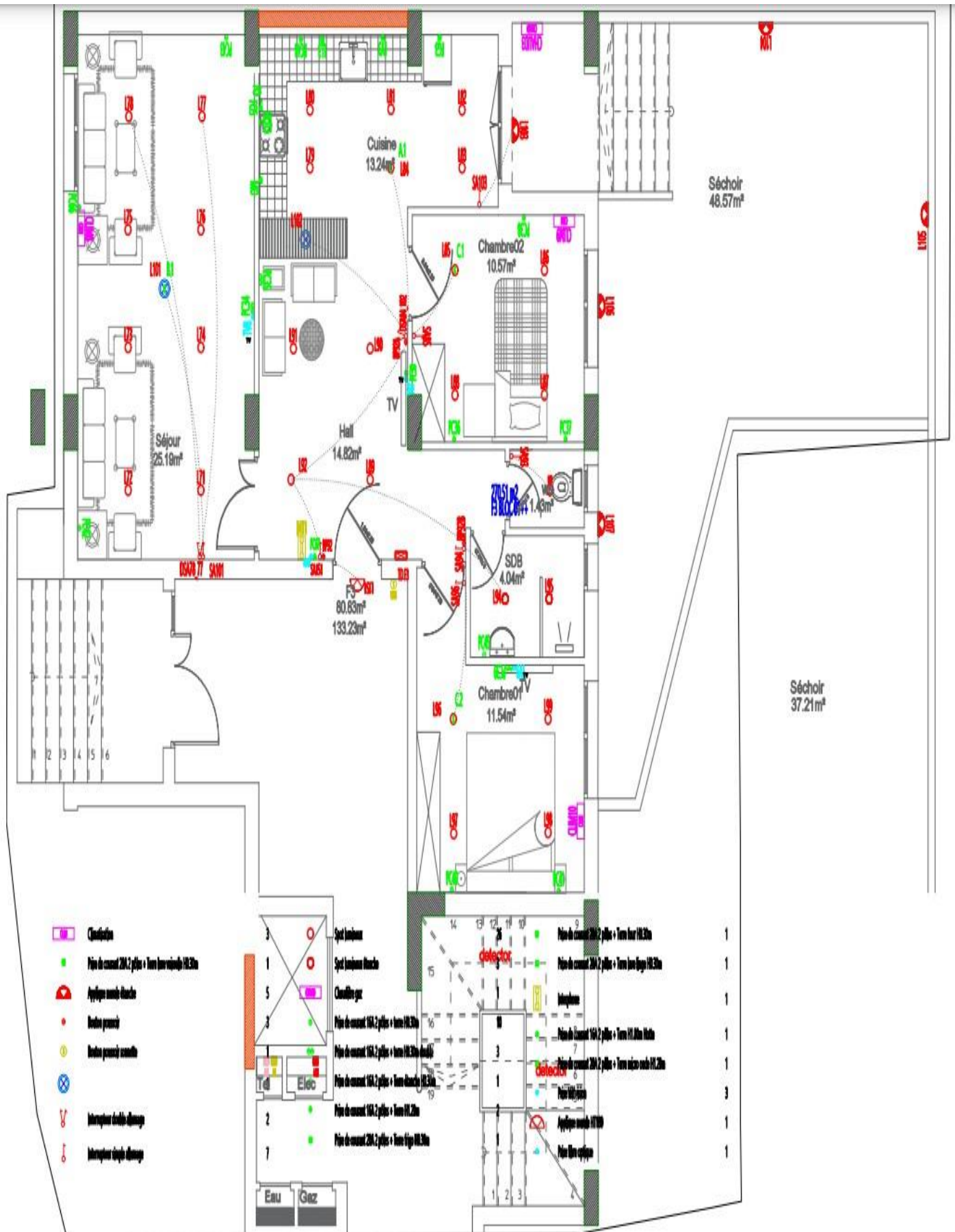


Figure II.6. Site représentant l'habitation à alimenter

II.8. Calcul des puissances et énergies pour les besoins énergétiques

Pour évaluer les besoins énergétiques de ce site, nous devons d'abord déterminer les puissances des appareils électriques présents dans les logements. Ces informations sont fournies par les fabricants et couvrent une gamme d'appareils tels que l'éclairage, les réfrigérateurs, les machines à laver, les téléviseurs, les ordinateurs, les téléphones, les fers à repasser, et autres. Ensuite, nous devons estimer la consommation énergétique quotidienne en calculant l'énergie utilisée par chaque appareil sur une base quotidienne, en prenant en compte les variations dans leur utilisation au fil du temps. Cette analyse précise nous permettra de déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires pour répondre à la demande énergétique du site, ainsi que la capacité de stockage requise pour assurer un approvisionnement électrique stable. De plus, elle nous aidera à choisir le type de régulateur et d'onduleurs appropriés pour optimiser les performances du système. En résumé, une évaluation détaillée des besoins énergétiques quotidiens est essentielle pour concevoir un système photovoltaïque efficace.

II.8.1. Calcul de l'énergie de la consommation journalière

L'énergie journalière consommée par un équipement donnée par l'équation suivante [17] :

$$E_i = P_i \times t_i \quad (\text{II-1})$$

E_i : Énergie journalière consommée d'un Équipement «i» en (Wh/j)

P_i : Puissance de l'équipement «i» exprimée en Watt(W).

t_i : Durée d'utilisation de l'équipement «i» en heure par jour (h/j).

II.8.2. Calcul de la consommation globale

La consommation globale journalière est donnée comme suit:

$$E = \sum_1^n E_i \quad (\text{II-2})$$

E : Énergie journalière globale consommée (Wh/j).

n : Nombre total d'appareils.

II.9. Calcul des besoins énergétique du site isolé

Calcul des besoins énergétique du site isolé Pour estimer les besoins énergétiques quotidiens d'un site isolé, comprenant un appartement de type F3 d'environ 133.23 m², il est essentiel de commencer par évaluer la puissance électrique et la durée d'utilisation de chaque appareil .Cela inclut l'éclairage, la réfrigération et le matériel audio-visuel, parmi les plus courants. En analysant ces données pour chaque appareil, nous pouvons estimer avec précision les besoins énergétiques du site, facilitant ainsi la planification et la mise en œuvre d'un système photovoltaïque adapté. En résumé, le processus débute par l'évaluation des besoins énergétiques de l'appartement, afin de concevoir efficacement le système photovoltaïque.

II.9.1.Calcul des besoins énergétiques de l'appartement

Dans le tableau suivant sont représentés les besoins énergétiques de l'habitation étudiée.

Tableau II.3.Besoins énergétiques de l'appartement

Appareils électriques	Nombre d'appareils	Puissance des appareils (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement	Energie journalière (Wh /j)
Spot	25	30	750	8	6000
téléviseur	3	100	300	8	2400
Réfrigérateur	1	180	180	24	4320
climatiseur	3	3500	10500	4	42000
Lave-linge	1	2000	2000	2	4000
Lave vaisselle	1	1500	1500	0,5	750
Hotte	1	200	200	0,5	100
Ordinateur	4	72	288	4	1152
Micro-onde	1	800	800	0,5	400

En utilisant les formules (II-1) et (II-2) on aura l'énergie journalière totale d'un appartement:

$$E_A = \sum_{i=1}^8 E_{Ai} = E_{A1} + E_{A2} + E_{A3} + E_{A4} + E_{A5} + E_{A6} + E_{A7} + E_{A8} + E_{A9} \quad (\text{II -3})$$

$$E_A = 6000 + 2400 + 4320 + 42000 + 4000 + 750 + 100 + 1152 + 400$$

$$E_A = 61122 \text{ Wh/j}$$

II.9.2. L'énergie journalière totale réelle consommée par habitation

Pour garantir une estimation précise de l'énergie quotidienne réelle fournie par l'installation, il est impératif de prendre en considération les performances des batteries et des onduleurs. Ceci est crucial car ces éléments jouent un rôle crucial dans la conversion et la distribution de l'énergie. Ainsi, pour obtenir une mesure exacte de l'énergie totale disponible chaque jour, il est essentiel d'intégrer les rendements spécifiques de ces composants dans le calcul [17].

$$E_{TR} = \frac{E_T}{\eta_{Bat} \times \eta_{Ond}} \quad (II-4)$$

E_{TR} : Energie totale journalière réelle

η_{Bat} : Rendement de la batterie qui est 85% (plomb-acide)

η_{ond} : Rendement de l'onduleur qui est 95%

$$E_{TR} = \frac{61122}{0.85 \times 0.95}$$

$$E_{TR} = 75692.8 \text{ Wh/J}$$

II.10. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Dans une installation photovoltaïque autonome, l'énergie provient exclusivement du champ photovoltaïque. Pour dimensionner correctement ce champ, il est essentiel de s'assurer que l'énergie électrique produite chaque jour par le champ photovoltaïque est au moins égale à l'énergie consommée quotidiennement par les appareils électriques. Ne pas respecter cette règle conduit à une consommation d'énergie supérieure à la production, ce qui compromet la viabilité de l'installation photovoltaïque.

II.10.1. Puissance crête des générateurs photovoltaïques

Pour déterminer la puissance crête (P_c) de l'installation photovoltaïque, on utilise une formule qui exprime P_c en fonction des autres paramètres. Cette formule, permet de calculer la puissance crête nécessaire pour garantir un fonctionnement optimal de l'installation. En reformulant, on peut dire qu'il est essentiel de déterminer avec précision la puissance crête afin d'assurer une production d'énergie adéquate en fonction des spécificités du système photovoltaïque [17].

$$P_{Ch} = \frac{E_{TR} \times G_{nom}}{G_{T_{moy}} \times k} \quad (II-5)$$

P_{Ch} : La puissance crête de l'installation

T_{moy} : L'irradiation solaire journalière, exprimée en KWh/m^2 /jour, reçue par le champ Photovoltaïque.

K : Facteur de correction globale (entre 0.65 et 0.9) la valeur souvent utilisée est 0.75.

G_{nom} : La puissance radiative dans la condition standard de test (conditions STC), exprimée en kW/m^2 , $G_{nom}=1KW/m^2$.

Pour déterminer le terme GT_{moy} il convient d'identifier la valeur moyenne de l'irradiation journalière du site. Le Tableau ci-dessous donne les différentes valeurs des irradiances mensuelles globales sachant que le site est situé à Mostaganem

Tableau II .5. Différentes irradiances du site étudié (Source PV Syst)

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Irradiation globale Horizontale $G_h(kWh/m^2/jour)$	2.89	3.58	4.91	6.04	7.01	7.60	7.87	6.94	5.59	4.28	3.22	2.50
Irradiation diffuse Horizontal G_{dh} ($kWh/m^2/jour$)	0.93	1.23	1.79	2.21	2.43	2.53	2.04	2.13	1.91	1.37	1.00	0.93
Irradiation total $G_T(kWh/m^2/jour)$	3.82	4.81	6.7	8.25	9.44	10.13	9.91	9.07	7.5	5.65	4.22	3.43

$$G_T = G_h + G_{dh} \quad (II-6)$$

G_T : Irradiation total ($kWh/m^2/jour$)

G_h : Irradiation globale horizontale ($kwh/m^2/Jour$)

G_{dh} : Irradiation diffuse Horizontal ($kWh/m^2/jour$)

$$G_{Tmoy} = \frac{\sum_{1}^{12} G_T}{12} \quad (II-7)$$

$$G_{Tmoy} = \frac{3.82+4.81+6.7+8.25+9.44+10.13+9.91+9.07+7.5+5.65+4.22+3.43}{12}$$

$$G_{Tmoy} = 6.91 \text{ kWh/m}^2/\text{J}$$

$$P_{Ch} = \frac{75692.8 \times 1000}{6910 \times 0.75}$$

$$P_{Ch} = 14605.46 \text{ W}_C$$

En conséquence, pour répondre aux besoins énergétiques identifiés, il est recommandé d'installer une capacité photovoltaïque d'au moins 14605.46 watts-crête (WC).

II.10.2. Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

Le choix de la tension de fonctionnement d'un système photovoltaïque dépend souvent de la puissance crête du champ photovoltaïque, exprimée en watts. En règle générale, la tension des modules solaires est sélectionnée en fonction de la puissance des panneaux, comme indiqué dans le tableau référencé [1]. Cette approche permet d'optimiser les performances du système en assurant une compatibilité adéquate entre la tension des modules et la puissance des panneaux solaires.

Tableau II.6. Différentes tensions par rapport à la puissance du champ photovoltaïque [1]

Puissance crête (W _C)	Moins de 500W _C	De 501W _C à 2000W _C	De 2001W _C à 10000W _C	Plus de 10000W _C
Tension de champ (V)	12	24	48	96

On utilise des tensions plus élevées en fonction de la grandeur de la puissance crête et des charges. Dans notre cas $P_{Ch} = 14605,46 \text{ W}_C > 10000 \text{ WC}$ donc : $V_{Ch} = 96 \text{ V}$ en DC.

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïque que l'on devra utiliser pour couvrir les besoins en électricité. Les Caractéristiques électriques du panneau solaire utilisé pour notre étude sont données par le tableau suivant [17] :

Tableau II.7.Caractéristique du panneau photovoltaïque considéré (TS-S340)

Puissance nominale P_{PV}	340Wc
Tension de point de puissance max V_{mpp}	34.20 V
Courant de point de puissance max I_{mpp}	9.94 A
Tension de circuit ouvert V_{oc}	41.70 V
Courant de court-circuit I_{Cc}	10.55 A
Nombre de cellules	120 cellules
Longueur du module	1684 mm
Largeur du module	1002 mm
Epaisseur du module	35 mm
Surface du module	1687 mm ²
Poids du module	19 Kg
Tension maximale du système	1500 V

Pour estimer le nombre de panneaux solaires requis pour une installation, on peut se baser sur la puissance crête des panneaux .Pour ce faire, il suffit de diviser la puissance totale nécessaire par la puissance nominale d'un seul panneau solaire. Cette méthode fournit une estimation fiable du nombre de panneaux nécessaire pour atteindre l'objectif énergétique fixé [17].

La formule utilisée pour ce calcul est :

$$N_{PV} = \frac{P_{Ch}}{P_{PV}} \quad (\text{II-8})$$

P_{Ch} : La puissance crête de l'installation

P_{PV} : La puissance crête du panneau

En appliquant cette formule, on peut déterminer avec précision le nombre de panneaux solaires nécessaire pour répondre aux besoins énergétique définis.

$$N_{PV} = \frac{14605.46}{340} = 42.96$$

P_{PV} : La puissance crête du panneau

L'installation sera constituée d'un seul champ de 43 panneaux montés comme suit

Nombre de panneaux en série

Le nombre de panneaux photovoltaïques en série est donné comme suit [17]:

$$N_{SPV} = \frac{V_{Ch}}{V_{mpp}} \quad (\text{II-9})$$

V_{Ch} : Tension de fonctionnement du champ

V_{mpp} : Tension maximale du panneau

N_{SPV} : Nombre de panneau en série

$$N_{SPV} = \frac{96}{34.20} = 2.8$$

On prend 3 panneaux en série.

Nombre de branches parallèles

Le nombre de branches parallèle est donné par la relation suivante:

$$N_{PPV} = \frac{N_{PV}}{N_{SPV}} \quad (\text{II-10})$$

N_{SPV} : Nombre de panneau en série

N_{PV} : Nombre totale des panneaux

$$N_{PPV} = \frac{43}{3} = 14.33$$

Donc il faut prendre 14 branches en parallèle.

II.11. Dimensionnement des batteries

Pour garantir un approvisionnement continu en énergie lors de conditions météorologiques défavorables, il est essentiel de mettre en place un système de stockage, principalement à base de batteries. Le dimensionnement de ces batteries suit une méthodologie précise [17] :

- Évaluation de la consommation énergétique.
- Détermination du nombre de jours d'autonomie requis.
- Identification de la profondeur de décharge acceptable selon le type de batterie utilisé.
- Calcul de la capacité nécessaire de la batterie.

Les spécifications électriques de la batterie utilisée pour cette analyse sont répertoriées dans le tableau suivant.

Tableau II.8. Caractéristique de la batterie considérée

Tension nominale	12V
Capacité nominale	296Ah
Résistance interne	9.40mΩ
Profondeur de décharge DOD	80%
Température de référence	20°C
Coefficient réducteur de température	97%
Durée de vie statique à 20°C	15ans
Poids	134kg
dimensions	21×46.4×71.8cm

II .11.1. Capacité de la batterie

La relation qui définit la capacité de la batterie [17]

$$C_T = \frac{E_T \times N_A}{V_{ch} \times \eta_\rho \times \eta_t} \quad (\text{II-11})$$

C_T : Capacité de la batterie

E_T : Energie consommée par jour (Wh /J)

N_A : Nombre de jour d'autonomie

V_{ch} : Tension du champ

η_ρ : Profondeur de décharge (0,8 pour les batteries plomb-acide)

η_t : Coefficient réducteur de température.

$$C_T = \frac{61122 \times 2}{96 \times 0.8 \times 0.97} = 1640.95 \text{ Ah}$$

Donc la capacité totale des batteries est :

$$C_T = 1640.95 \text{ Ah}$$

II.11.2. Nombre de batteries en série

Le nombre de batterie à mettre en série est donné par la relation suivante

$$N_{BS} = \frac{V_{ch}}{V_b} \quad (\text{II-12})$$

V_b : Tension nominale d'une batterie

$$N_{BS} = \frac{96}{12} = 8$$

Nombre de batteries en série est 8

II.11. 3. Nombre de batteries par branches parallèles

$$N_{BP} = \frac{C_T}{C_{bat}} \quad (\text{II-13})$$

C_{bat} : Capacité nominale d'une batterie

$$N_{BP} = \frac{1641.61}{296} = 5.54$$

Le nombre total de batteries est donné par

$$N_{BT} = N_{BP} \times N_{BS} \quad (\text{II-14})$$

$$N_{BT} = 5 \times 8 = 40$$

Le nombre total des batteries est **40**.

II .12. Dimensionnement du régulateur

Le choix d'un régulateur de charge dépend de deux principaux critères : la tension entre les panneaux solaires et les batteries, généralement de 12V, 24V ou 48V, et l'intensité maximale supportée par le régulateur, qui doit être supérieure à l'intensité de court-circuit des panneaux solaires .Pour un champ solaire de plus de 10kW, une tension recommandée est de 96V .Le courant maximal du régulateur est calculé selon une équation spécifique [27, 17].

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{V_{ch}} \quad (\text{II-15})$$

I_{max} : courant maximal du régulateur

$$I_{max} = \frac{14605.46}{96} = 152.14$$

$$I_{max} = 152.14 \text{ A}$$

II.13. Dimensionnement de l'onduleur

Le dimensionnement d'un convertisseur de courant repose sur plusieurs critères essentiels à prendre en compte. Tout d'abord, la tension d'entrée doit correspondre à celle des batteries ou du régulateur, typiquement 12, 24 ou 48 V en courant continu. Ensuite, la tension de sortie doit être adaptée à l'utilisation locale, par exemple en Algérie, où l'on utilise généralement du 220/230 V à 50 Hz.

La puissance nominale du convertisseur est déterminée par la somme des puissances des appareils électriques susceptibles d'être utilisés simultanément. Il est recommandé de choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils pour assurer un fonctionnement optimal. De plus, la puissance maximale du convertisseur doit être capable de fournir une grande puissance, généralement deux à trois fois la puissance nominale, pour répondre aux besoins de démarrage des appareils équipés de moteurs, tels que les réfrigérateurs, les micro-ondes ou les lave-linge.

Le rendement du convertisseur est également un aspect crucial, car une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur lui-même. Un bon produit affichera un rendement autour de 90%, ce qui garantit une utilisation efficace de l'énergie. Il est donc essentiel de vérifier ce rendement lors du choix d'un convertisseur de courant pour optimiser la performance de votre système électrique [17].

$$N_{ond} = \frac{P_{ch}}{P_{max \text{ onduleur}}} \quad (\text{II.16})$$

$$N_{ond} = \frac{14605.46}{5000} = 2.92$$

On prend 3 onduleurs

II.14. Dimensionnement des câbles

Une installation photovoltaïque est généralement composée de deux parties distinctes: la partie courant continu et la partie courant alternative. Assurer une alimentation électrique efficace entre ces deux parties nécessite une attention particulière au choix des câbles électriques. Les courants de la partie continue sont souvent plus importants, ce qui peut entraîner des chutes de tension et des pertes par effet Joule dans les câbles.

Ainsi, il est crucial de dimensionner correctement les câbles pour chaque partie de l'installation afin de minimiser les pertes d'énergie et d'assurer un fonctionnement optimal du système. La figure ci-dessous illustre les différentes parties à alimenter, mettant en évidence l'importance de cette étape dans la conception d'une installation photovoltaïque [27].

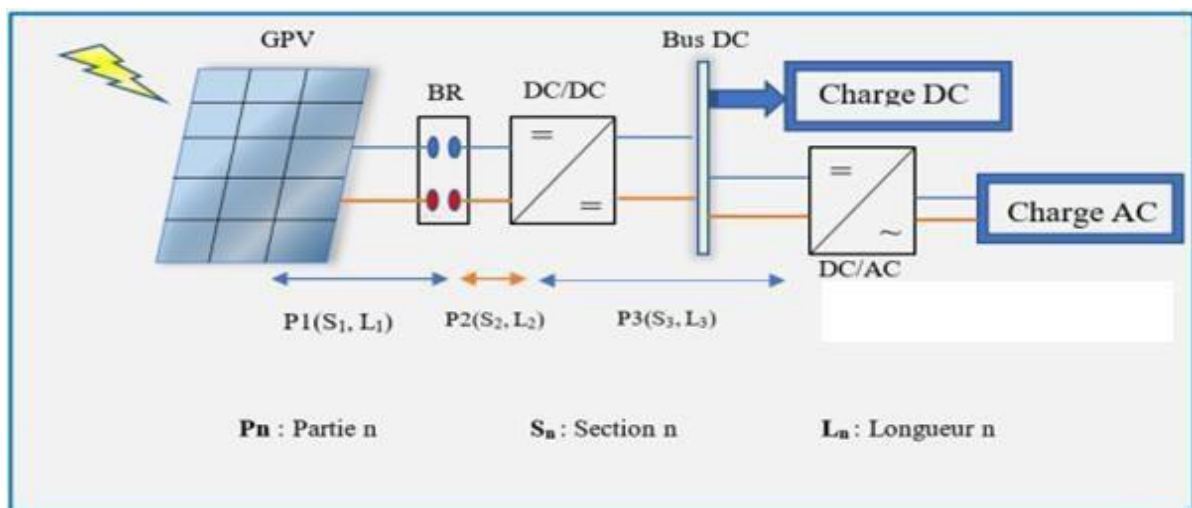


Figure II.7. Les parties à alimenter Energie électrique

II.14. 1 Branchement des panneaux photovoltaïques à la boîte de raccordement

La résistance d'un câble électrique est indépendante de la tension et du courant qui le traversent. En revanche, elle dépend de la résistivité du matériau constituant le câble (comme le cuivre, l'argent, ou le fer), ainsi que de la longueur du câble, de sa section transversale, et de sa température. Pour le courant continu, cette chute de tension doit être inférieure à la limite admise qui est de 2 %. La relation utilisée pour calculer la résistance est la suivante [27]:

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad (\text{II.17})$$

R: La résistance en (Ω)

ρ : La résistivité en ($\Omega \cdot \text{m}$)

L : La longueur du câble en (m)

S : La section du câble s en (mm^2)

$$S_1 = \frac{\rho \times L_1 \times I_1}{\Delta V \times V} \quad (II-18)$$

Tel que :

$$I_1 = 1.25 \times I_{CC}$$

Et

$$V = V_{PVmax}$$

$$I_1 = 1.25 \times 10.55 = 13.187 \text{ A}$$

$$I_1 = 13.187 \text{ A}$$

On prend une longueur de $L_1 = 5\text{m}$

$$S_1 = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 5 \times 13.18}{0.02 \times 34.20} = 1.54 \text{ mm}^2$$

On prend une section normalisée de $s_1 = 2.5\text{mm}^2$

II.14.2. Branchement entre la boîte de raccordement et le régulateur

La section des câbles reliant la boîte de branchement et le régulateur est donnée comme suit [27] :

$$S_2 = \frac{\rho \times L_2 \times I_2}{\nabla V \times V} \quad (II .19)$$

$$I_2 = I_{mpp} \times N_{PV} \quad (II .20)$$

$$I_2 = 2.92 \times 49$$

$$I_2 = 143.08 \text{ A}$$

On prend une longueur de $L_2=2\text{m}$

$$S_2 = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 143.08}{0.02 \times 34.20} = 6.69\text{mm}^2$$

On prend une section normalisé de : $S_2 = 10 \text{ mm}^2$

II.14.3. Branchement entre le régulateur et l'onduleur

La section des câbles reliant le régulateur et l'onduleur est donnée par la relation suivante [27] :

$$S_3 = \frac{\rho \times L_3 \times I_3}{\Delta V \times V} \quad (II-21)$$

$$I_3 = I_{Bat} = \frac{1}{1-\alpha} I_2 \quad (II-22)$$

$$1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{PV}}$$

$$1 - \alpha = \frac{12}{34.20} = 0.35$$

$$1 - \alpha = 0.35$$

Où, le α représente le rapport cyclique

$$I_3 = I_{Bat} = \frac{I}{0.35} \times 143.08$$

$$I_3 = 408.8 \text{ A}$$

On prend une longueur de $L_3 = 3m$

$$S_3 = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 3 \times 408.8}{0.02 \times 34.20}$$

$$S_3 = 28.68 \text{ mm}^2$$

On prend une section normalisé de :

$$s_3 = 35 \text{ mm}^2$$

La Figure II.8 montre le Système de raccordement avec les câbles des composants de l'installation photovoltaïque.

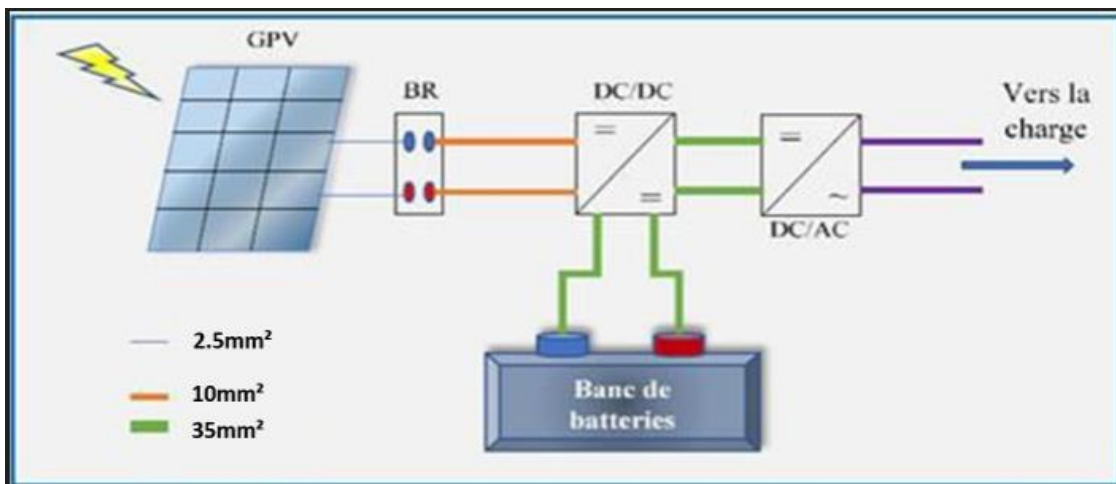


Figure II.8. Système de raccordement des composants de l'installation PV.

II.15. Conclusion

Dans cette section, nous avons réalisé une évaluation théorique de la dimension de l'ensemble des panneaux photovoltaïques et du site isolé considéré. Nous avons d'abord estimé la consommation totale d'énergie quotidienne des appareils électriques du site isolé. Ensuite, nous avons déterminé la puissance crête nécessaire ainsi que le nombre de panneaux photovoltaïques requis. Nous avons également calculé la capacité de la batterie nécessaire pour stocker l'énergie électrique et assurer le bon fonctionnement de notre système. Le dimensionnement d'un régulateur a également été réalisé. De plus, nous avons évalué le nombre d'onduleurs nécessaires pour convertir le courant continu des panneaux photovoltaïques en courant alternatif pour alimenter les appareils électriques. Enfin, nous avons calculé les sections de câbles nécessaires pour relier les panneaux au régulateur et les régulateurs aux onduleurs, car ces dimensions sont cruciales pour garantir le bon fonctionnement de l'installation. Le prochain chapitre se concentrera sur la simulation de cet ensemble dimensionné, et les résultats obtenus seront analysés et interprétés.

Chapitre III

*Simulation d'un système
photovoltaïque isolé*

III .1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons simuler l'ensemble du système photovoltaïque et du site isolé considéré. Le site isolé est une habitation située à kharrouba, section 223, lot 396, ilot N 38 dans la willaya Mostaganem. Cette habitation est un appartement de type F3. L'énergie journalière consommée et la puissance crête du champ photovoltaïque ont été calculées dans le deuxième chapitre. Cette énergie et cette puissance crête du champ photovoltaïque sont nécessaires pour notre simulation. La simulation du dimensionnement de notre installation se fera en utilisant le logiciel PVsyst . Le but de cette simulation est d'obtenir d'autres résultats en complément à ceux obtenus lors du dimensionnement.

III .2. Description du logiciel PVsyst

Le logiciel PVsyst est spécialisé dans le dimensionnement de panneaux solaires, offrant une variété d'informations telles que la production d'énergie, l'irradiation solaire, le coût de l'installation, la surface requise et la production annuelle d'énergie. Son mode avancé offre une analyse approfondie, permettant d'obtenir une multitude d'informations pour une étude très complète.

Ce logiciel dispose de bases de données très riches sur les panneaux solaires, les régulateurs, les batteries, les onduleurs, les pompes solaires, etc., ainsi qu'une base de données météorologique .C'est pourquoi nous avons choisi ce logiciel pour comparer les résultats de dimensionnement et vérifier leur précision par rapport à la réalité.

III .3. Etape de la simulation de l'ensemble PV et site isolé

PVsyst est un outil utilisé pour simuler le dimensionnement de divers types de systèmes alimentés par panneaux photovoltaïques. Il permet principalement de :

- Analyser les systèmes d'alimentation par panneaux photovoltaïques couplés au réseau.
- Étudier les systèmes d'alimentation par panneaux photovoltaïques en site isolé avec batterie.
- Examiner les systèmes de pompage alimentés par panneaux photovoltaïques en site isolé.
- Obtenir des données météorologiques et d'irradiation du site considéré.

III .3.1.Choix du système d'alimentation à étudier du projet

La figure suivante montre l'étape permettant de sélectionner le type d'alimentation pour le projet, dans notre cas **isolée avec batterie**.

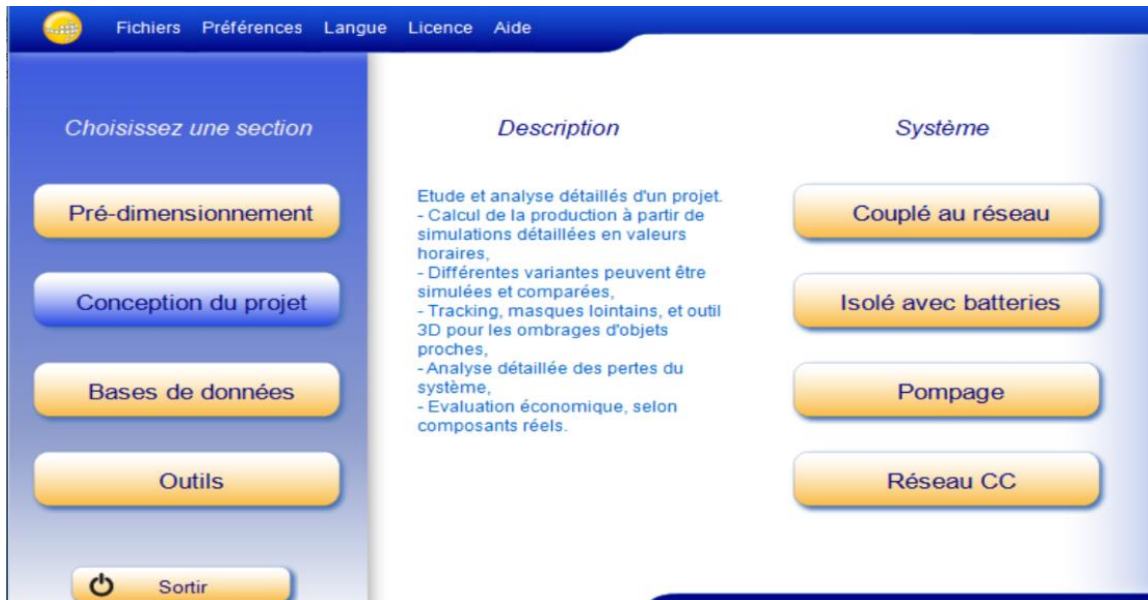


Figure. III.1. Etape du choix du type d'alimentation (Isolé avec batterie)

III .3.2. Désignation du projet

Cette figure montre l'interface où l'on attribue un nom au projet à simuler, ainsi que la définition du site géographique et du fichier météo horaire. Dans notre cas, le site géographique est Mostaganem.

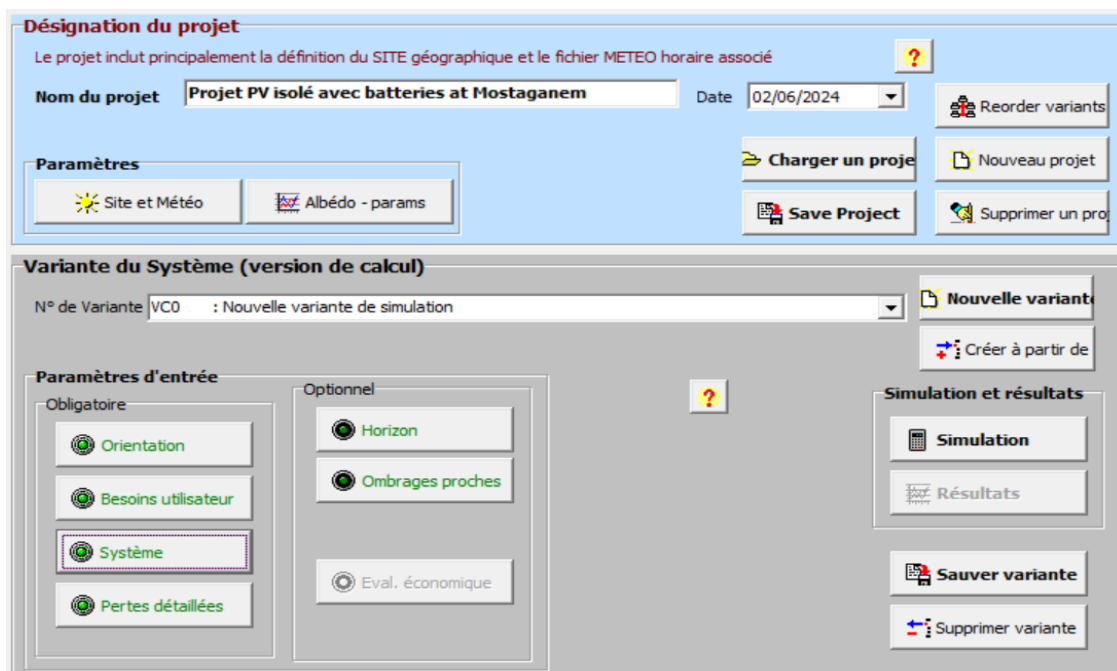


Figure III.2. Désignation du projet dans PV Syst.

III . 3.3. Données Météorologiques mensuelles du site Mostaganem

La figure ci-dessous présente principalement les diverses irradiances du site isolé étudié, essentielles pour déterminer le champ photovoltaïque.

PVSYST V6.43													09/06/24 12h07	
Définition d'un site géographique														
Site géographique		Mostaganem						Pays Algeria						
Fichier Mostaganem_MN71_1996_1980.SIT du 00/00/00 à 00h00														
Situation		Latitude		35.9°N				Longitude		0.1°E				
Temps défini comme		Temps légal		Fus. horaire TU+1				Altitude		104 m				
Valeurs météo mensuelles		Source Meteonorm 7.1 (1996-2010), Sat=100%												
	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
Hor. global	2.89	3.58	4.91	6.04	7.01	7.60	7.87	6.94	5.59	4.28	3.22	2.50	5.21	kWh/m ² .jr
Hor. diffuse	0.93	1.23	1.79	2.21	2.43	2.53	2.04	2.13	1.91	1.37	1.00	0.94	1.71	kWh/m ² .jr
Extraterrestrial	4.96	6.43	8.16	9.93	11.09	11.56	11.35	10.42	8.87	7.04	5.36	4.54	8.32	kWh/m ² .jr
Clearness Index	0.583	0.557	0.602	0.608	0.632	0.658	0.694	0.666	0.630	0.607	0.600	0.551	0.627	
Amb. temper.	10.5	11.9	14.2	15.9	19.4	23.1	26.2	26.3	23.1	20.1	14.5	12.0	18.1	°C
Wind velocity	2.6	2.8	3.4	3.8	3.9	3.8	3.7	3.4	3.1	2.8	2.7	2.8	3.2	m/s

Figure. III.3. Différente données des irradiances du site considéré

III . 3.4. Diagramme de la trajectoire du soleil du site Mostaganem

La figure ci-dessous montre la trajectoire du soleil à Mostaganem, et l'emplacement du site étudié. La compréhension du mouvement apparent du soleil à un point donné de la surface terrestre est essentielle pour toutes les applications solaires. La position du soleil est caractérisée par deux angles : l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu et son azimut.

Trajectoire du soleil à Mostaganem, (Lat. 35.9°N, long. 0.1°E, alt. 104 m) Temps légal

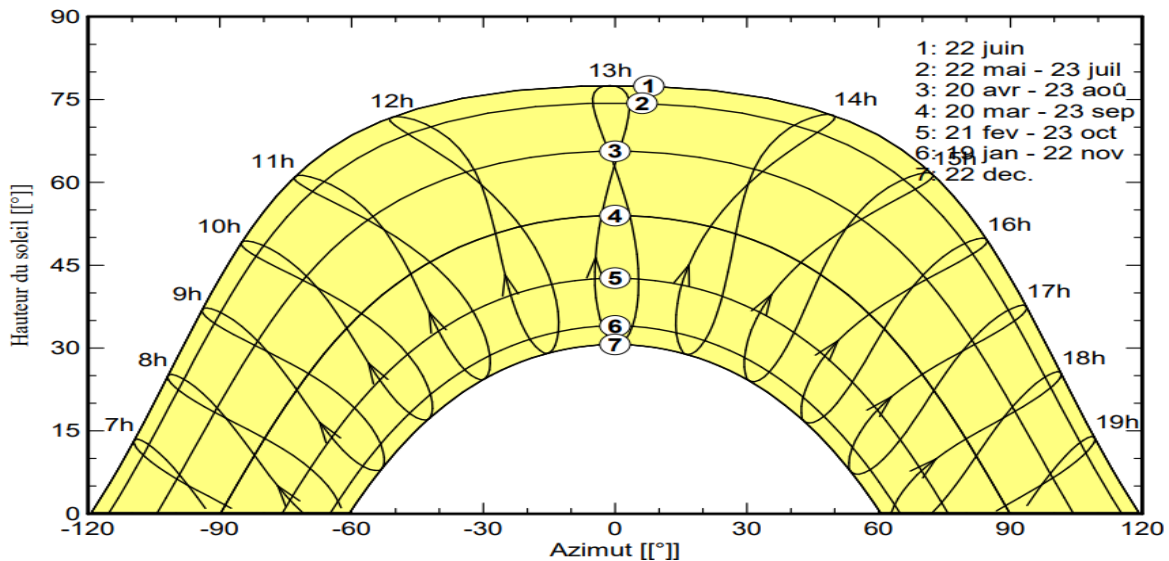


Figure. III.4. Allures représentant la trajectoire du soleil à Mostaganem.

III .3.5. Définition de l'orientation des panneaux photovoltaïques

Le choix de l'orientation optimale du module PV est une étape importante pour atteindre une production d'énergie maximale. Pour notre simulation, nous avons opté pour un champ de panneaux photovoltaïques inclinés fixe à un angle de 30°C par rapport à l'horizontale, et en ce qui concerne l'optimisation, nous avons choisi une irradiation annuelle.

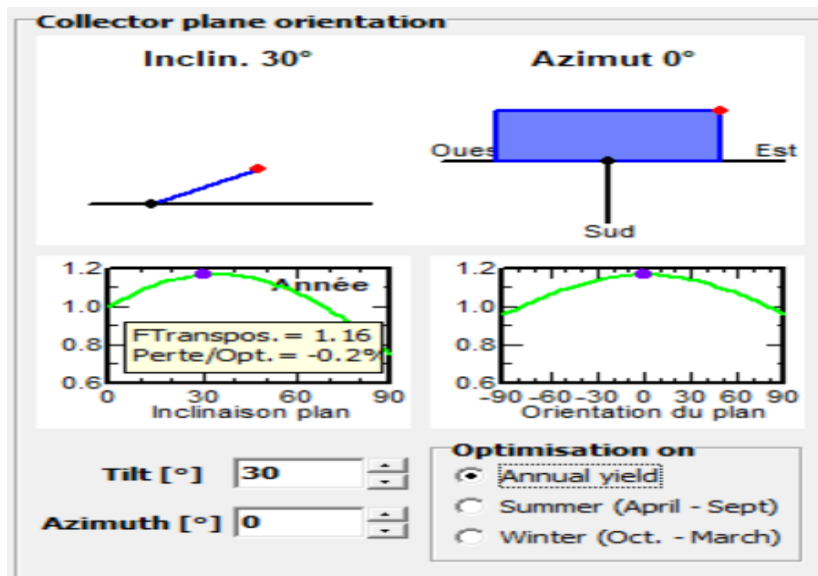


Figure. III.5. Plan d'inclinaison

III.3.6. Evaluation des besoins énergétiques électriques

Le logiciel PVsyst offre une interface permettant d'intégrer les différents appareils électriques envisagés et leur puissance, et de définir la consommation d'énergie journalière. Les appareils d'une habitation varient en fonction de la consommation électrique et la durée d'utilisation. PVsyst donne une estimation de la consommation d'énergie journalière et mensuelle moyenne. La Figure III.6. Illustre les appareils considérés dans notre étude, ainsi que leur puissance, pour calculer la consommation d'énergie journalière. Elle montre aussi les résultats obtenus de l'énergie journalière totale et l'énergie mensuelle. L'énergie journalière totale donnée par le logiciel est proche de celle calculée théoriquement

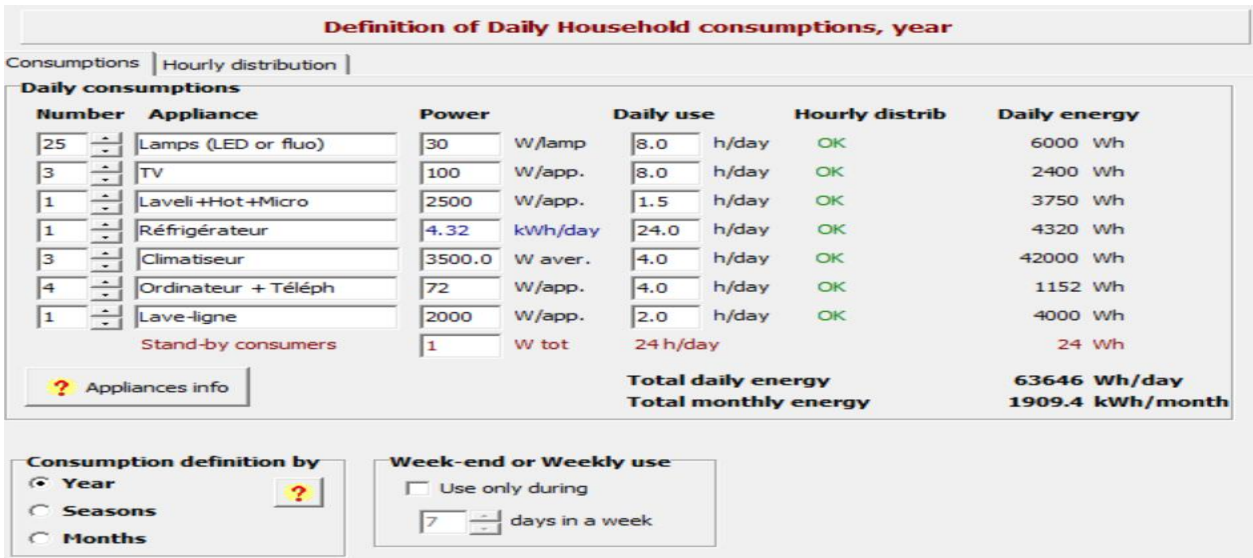


Figure. III.6. Usages journaliers pour l'année

La figure ci-dessous montre l'utilisation domestique journalière détaillée et la consommation globale.

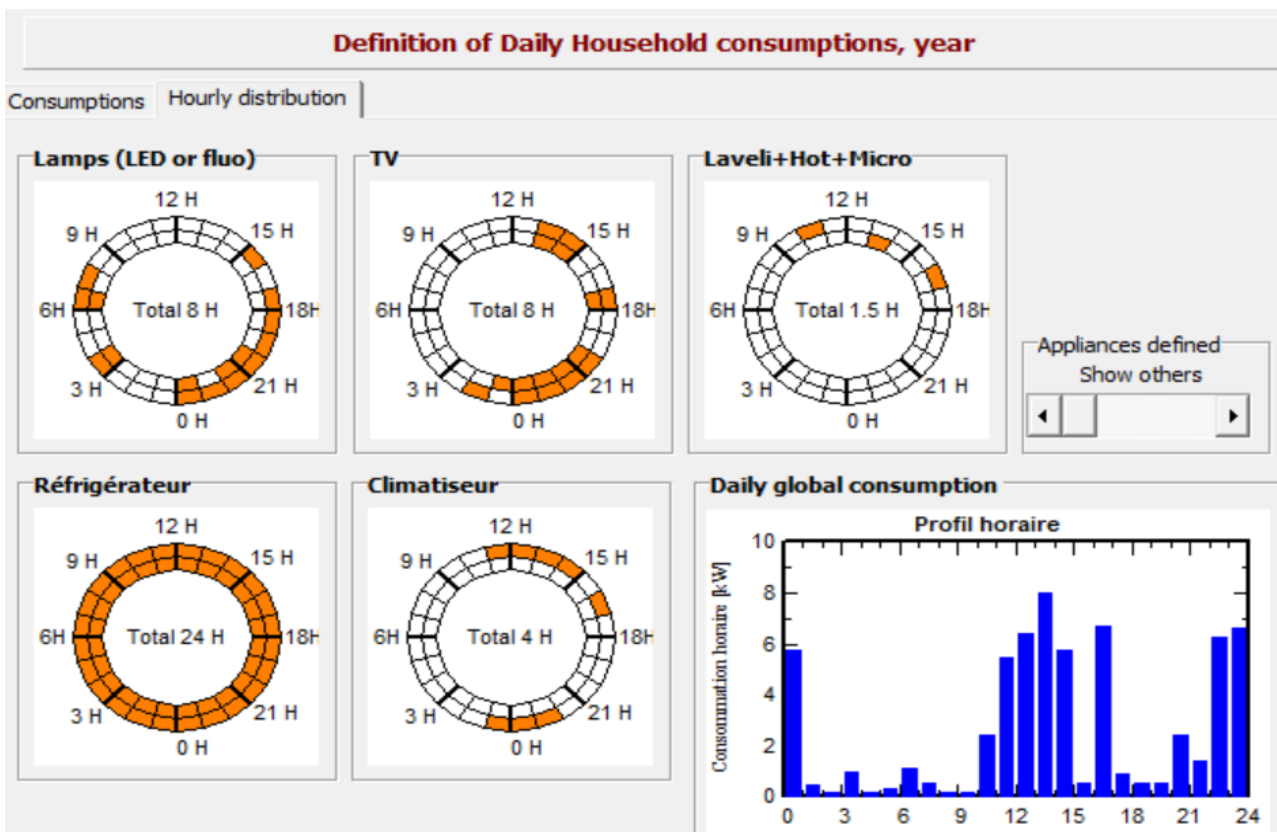


Figure. III.7. Usages journaliers détaillés et la consommation globale

III.3.7. Dimensionnement du champ photovoltaïque

Le logiciel PVsyst est constitué d'une bibliothèque où on peut choisir les types de panneaux photovoltaïques, avec plusieurs technologies et différentes puissances. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïque est déterminé selon différents critères, notamment les besoins électriques, en particulier la puissance crête, et le type de batteries utilisé. La Figure III.8 présente le type de panneau choisi pour la simulation de notre système, qui est le modèle TS-S340, ainsi que le type de régulateur MPPT sélectionné. La Figure III.9 démontre les caractéristiques du panneau photovoltaïque.

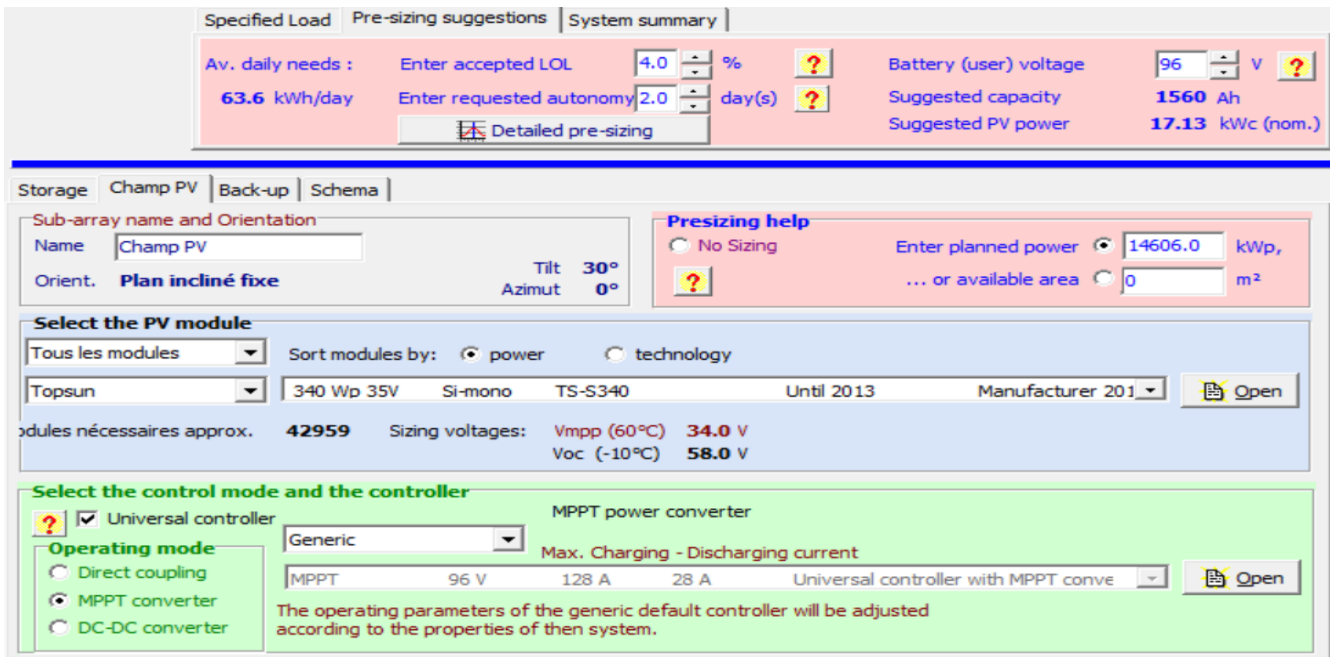


Figure. III.8. Configuration du système et le choix du panneau photovoltaïque

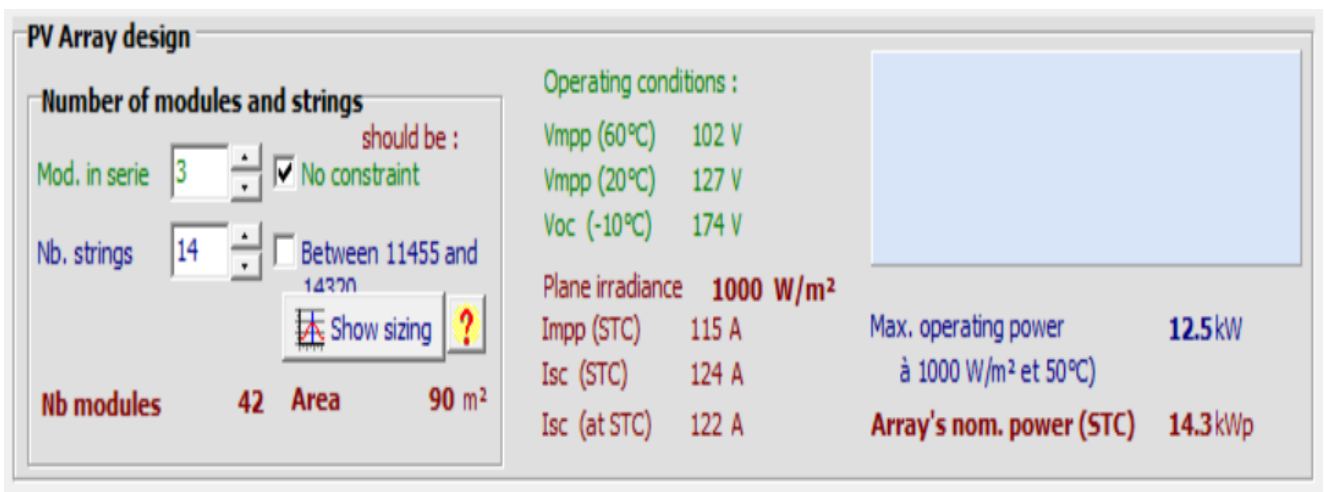


Figure. III.9. Nombre de panneau photovoltaïques et surface occupée

III.3.8. Dimensionnement du parc de batteries

La Figure III.10 donne le nombre total des batteries, qui est de 40 batteries avec 8 en série et 5 chaînes en parallèle.

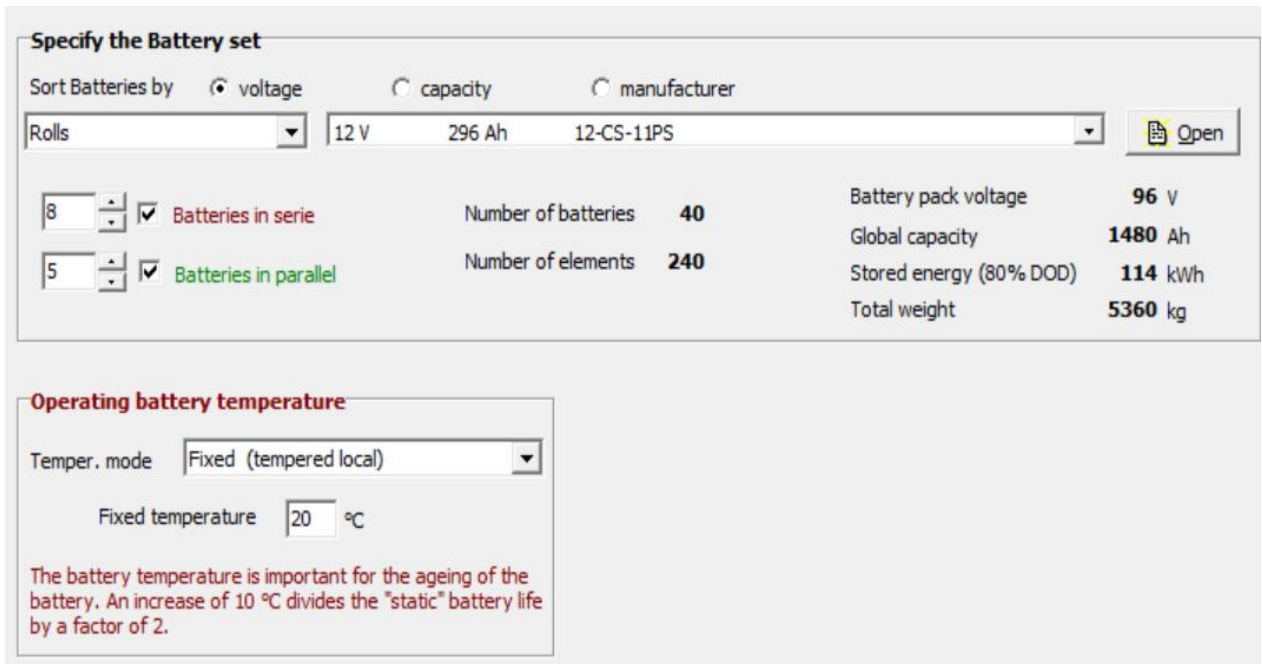


Figure. III.10. choix et caractéristique technique de la batterie

III.3.9. Schéma simplifié du système photovoltaïque isolé considéré

La Figure suivante donne le schéma simplifié du système isolé considéré.

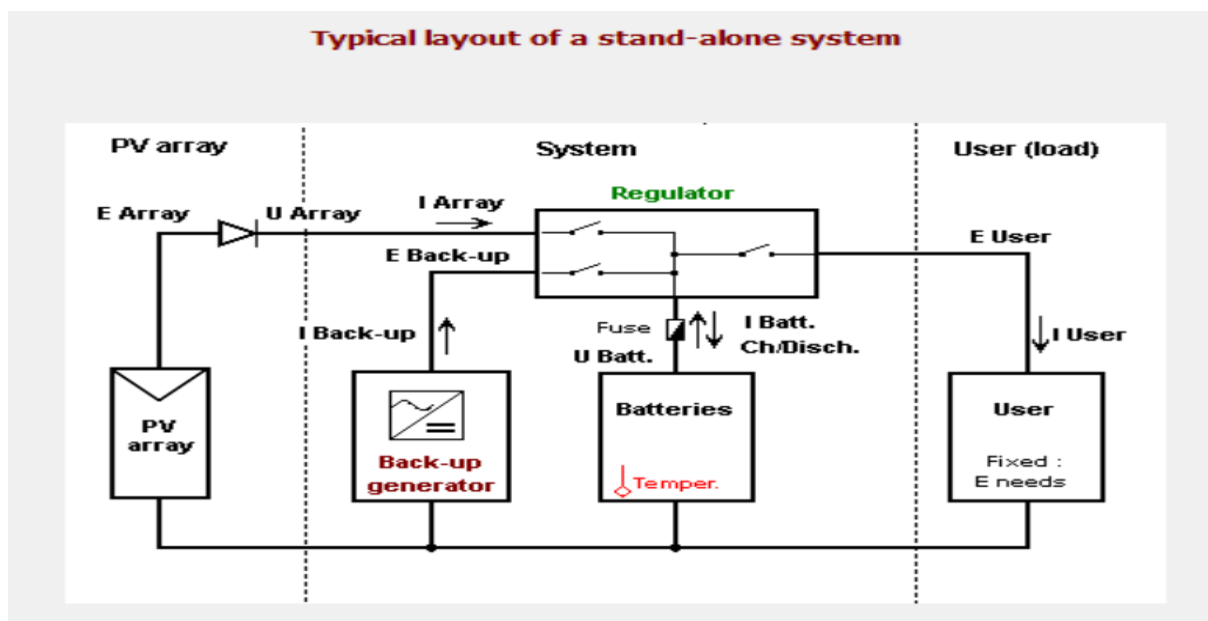


Figure. III.11. Schéma simplifié du système isolé

III.4. Résultats de simulation

Dans ce qui suit nous présenterons les résultats de simulation obtenus par le logiciel PV Syst.

III.4.1. Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ en fonction des irradiances et de la température

La Figure III.12 donne la caractéristique $I=f(V)$ du système avec les différentes valeurs maximales de la puissance en fonction de l'irradiation pour une température de 25°C.

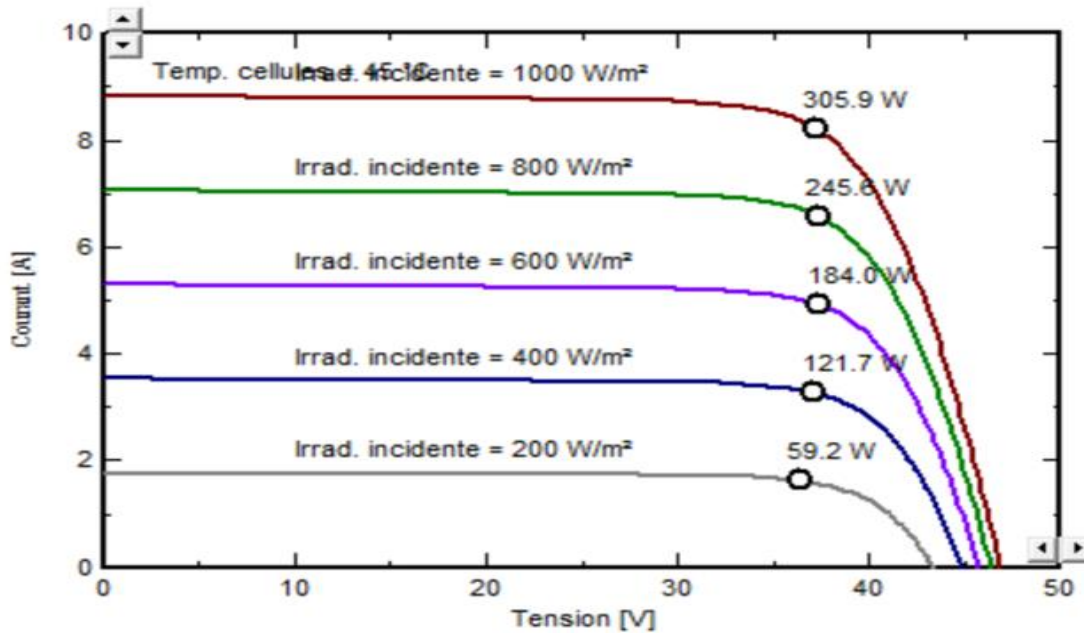


Figure. III.12. Caractéristique $I=f(V)$ du système pour différentes irradiances

La Figure III.13 présente la caractéristique $P=f(V)$ du système avec les différentes valeurs maximales de la puissance en fonction de l'irradiation pour une température de 25°C.

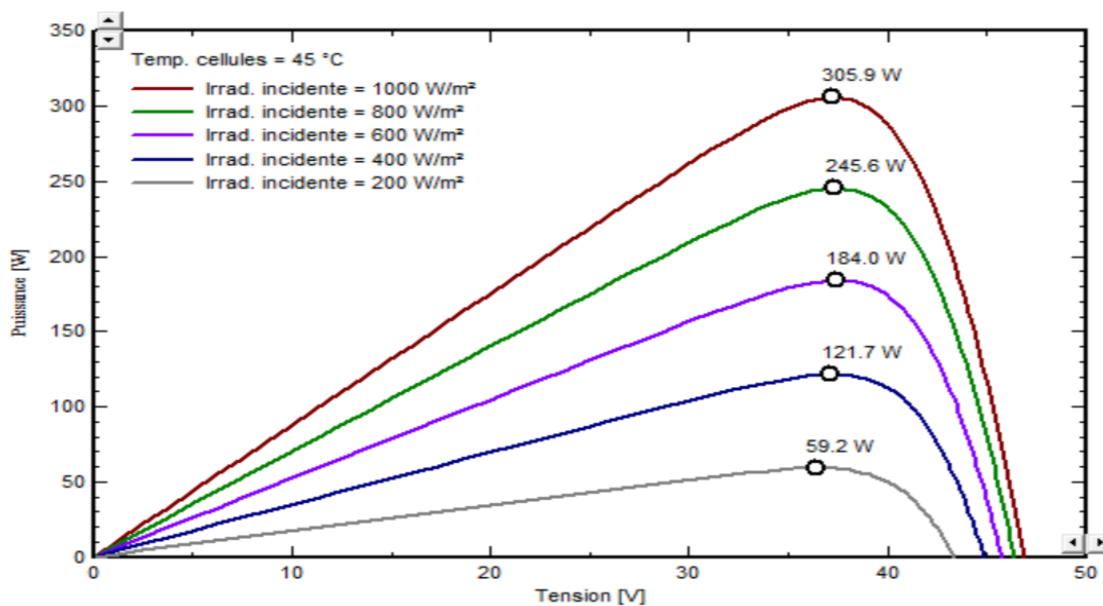


Figure. III.13. Caractéristique $P=f(V)$ du système pour différentes irradiances

La Figure III.14 montre la caractéristique $I=f(V)$ du système avec les différentes valeurs maximales de la puissance en fonction de la température pour une irradiation de 1000W/m^2

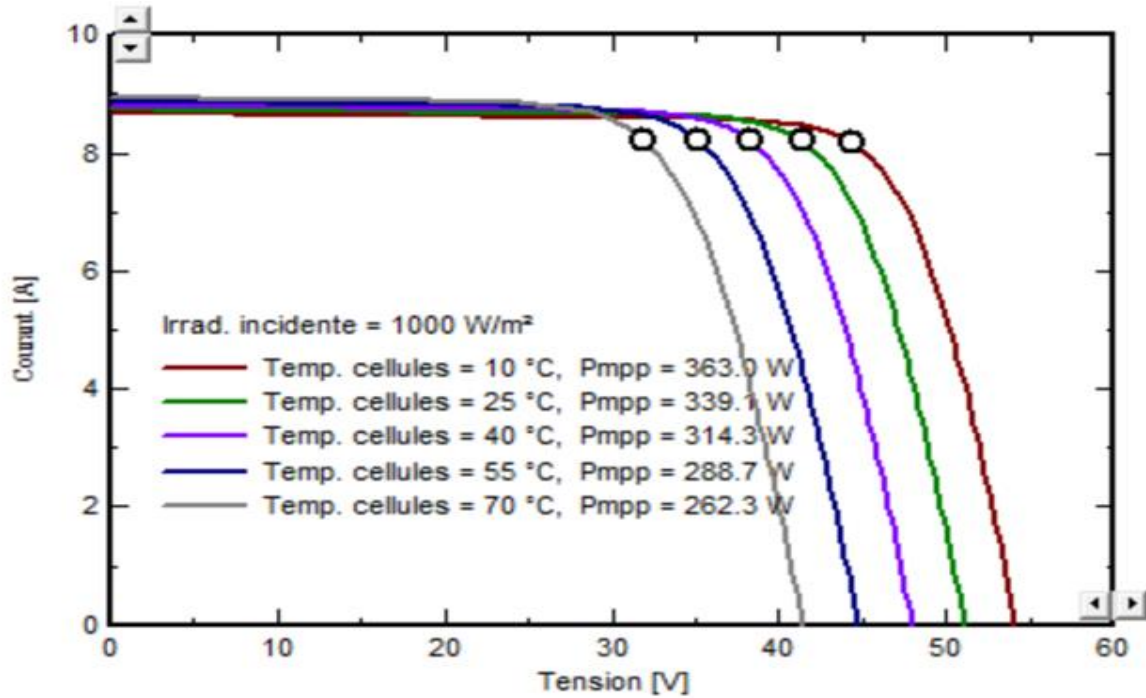


Figure. III.14. Caractéristique $I=f(V)$ du système pour différentes températures

La Figure III.15 montre la caractéristique $P=f(V)$ du système avec les différentes valeurs maximales de la Puissance en fonction de la température pour une irradiation de 1000W/m^2

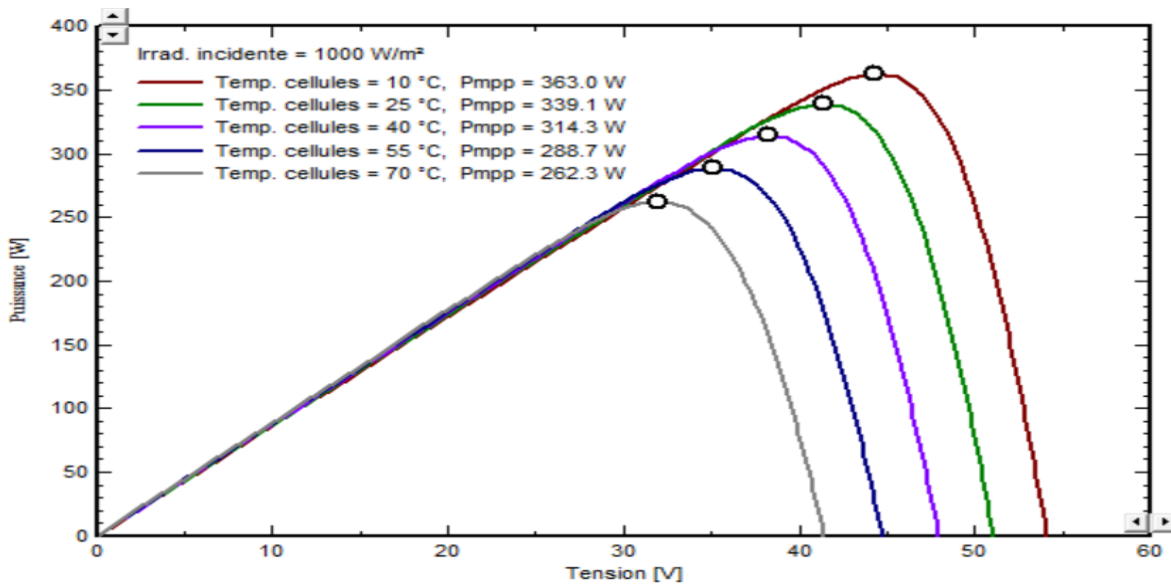


Figure. III.15. Caractéristique $P=f(V)$ du système pour différentes températures

III .5.Rapport de la simulation et discussion

Dans cette partie nous présenterons le rapport donné par le logiciel PV Sys. La Figure III.16 présente la répartition des appareils électrique du site isolé et leurs puissances et ainsi que leurs énergies journalières. L'énergie totale journalière de l'installation est de 63646 Wh/jour proche de celle théorique calculée dans le deuxième chapitre.

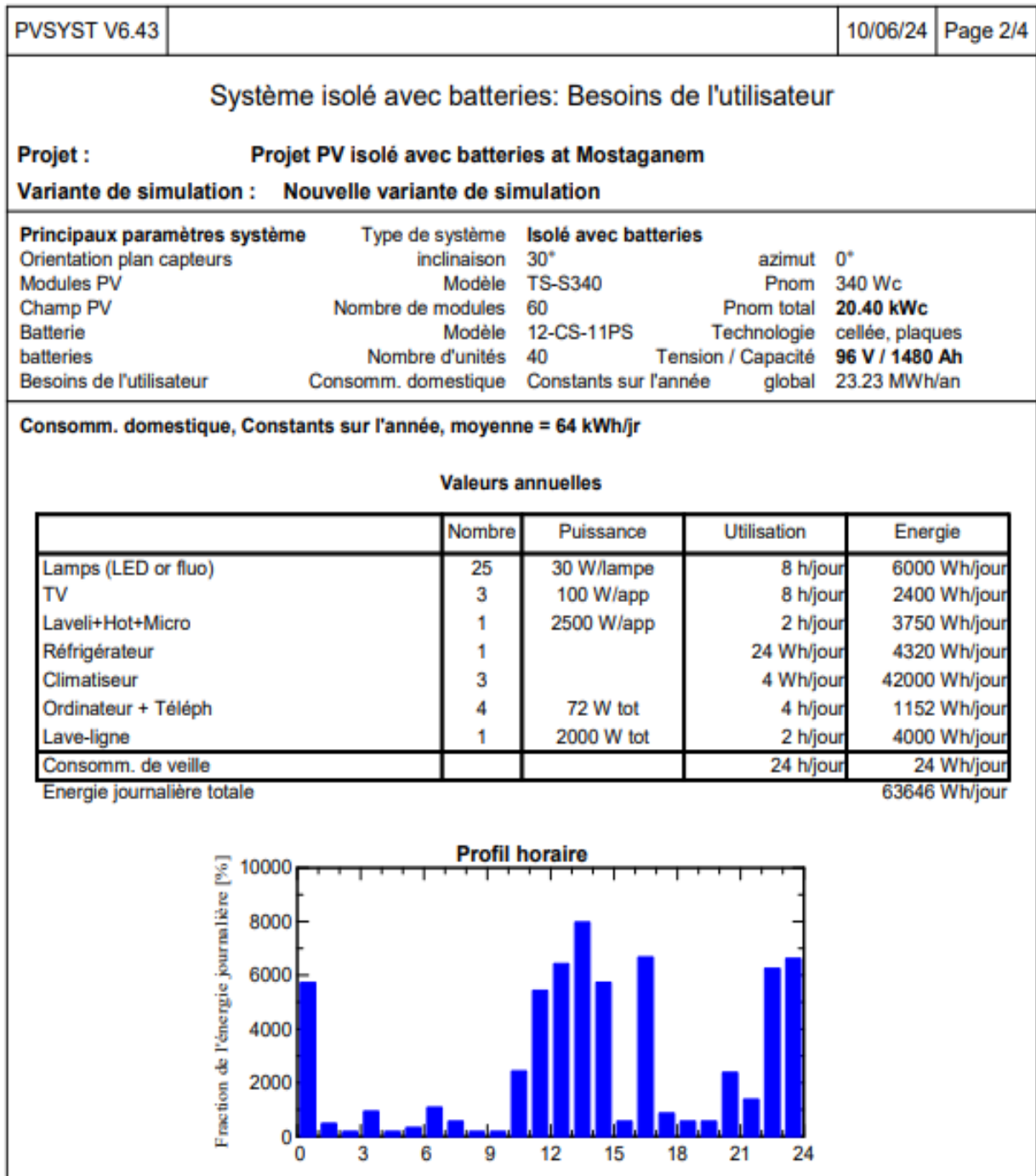


Figure. III.16. Rapport de simulation des besoins énergétique du site étudié

La Figure III.17 montre que l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques est proportionnelle à l'énergie incidente, et que le besoin énergétique est satisfait pendant toute l'année à l'exception d'un petit manque durant les mois de février et décembre.

- L'énergie produite par le champ PV est estimée à 1750 kWh/kWc/an.
- L'énergie totale du besoin est 23121Wh/an.
- L'excès d'énergie est estimé à 11104 kWh/an.

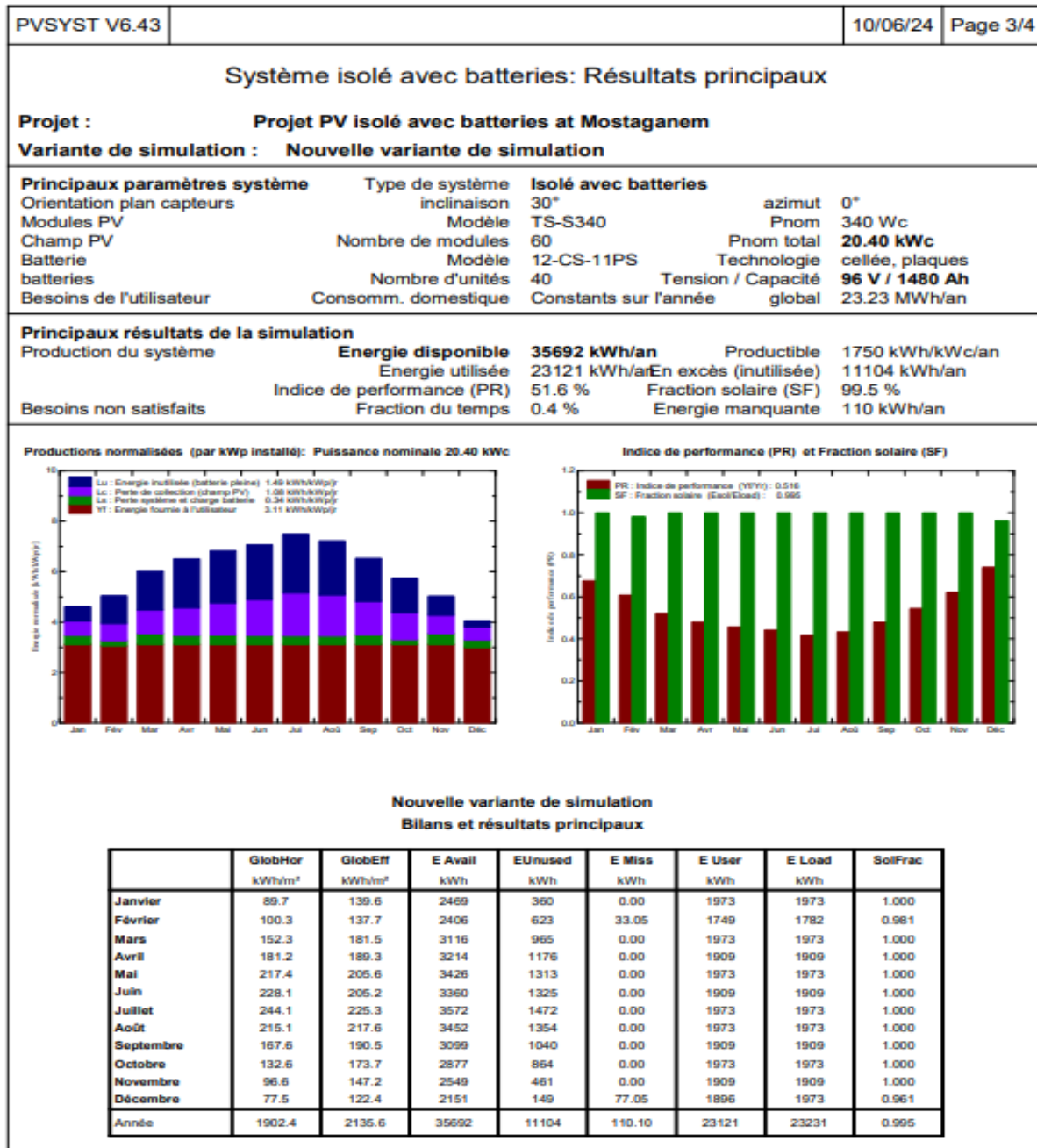


Figure III.17. Rapport des résultats principaux

La Figure III.18 présente un diagramme, qui illustre les différentes pertes d'énergies, résumées sous forme d'un diagramme. Ces pertes sont associées à divers paramètres de dégradations auxquelles est soumis notre système photovoltaïque. Ce diagramme résume ces pertes principalement les pertes de champ photovoltaïque dues à la température, la qualité des modules photovoltaïques, ainsi que les pertes de stockage.

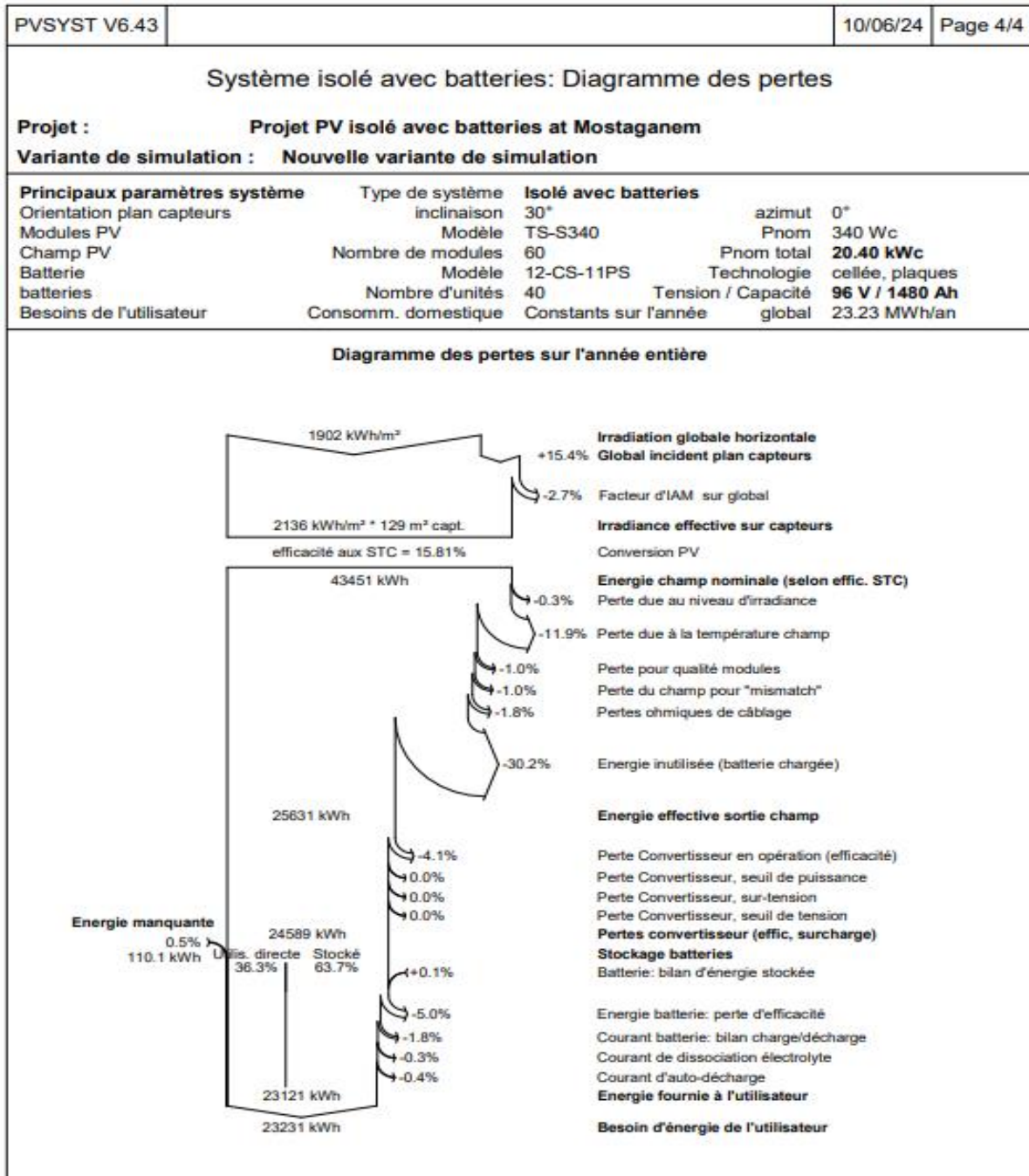


Figure III.18. Diagramme des pertes du système photovoltaïque

III. 6. Conclusion

Le PVsyst est un logiciel qui nous a aidé à simuler l'ensemble système photovoltaïque - site isolé, en prenant en compte la puissance de l'ensemble des appareils électriques du site. L'énergie journalière totale consommée par le site a été calculée par le logiciel et elle est proche de celle obtenue théoriquement. Le choix des panneaux et les batteries a été intégré dans le logiciel en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque, dont les étapes ont été expliquées. Plusieurs résultats ont été obtenus et discutés. L'emplacement géographique, les différentes irradiances ou l'ensoleillement du site, les caractéristiques de courant et de puissance en fonction de la tension, ainsi que les différentes pertes, ont été déterminés lors de la simulation.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'avenir énergétique repose sur l'énergie photovoltaïque, une source renouvelable prometteuse et durable, cruciale pour répondre aux besoins énergétiques des sites isolés. Ce mémoire se concentre sur le dimensionnement et la simulation d'un système photovoltaïque pour une habitation isolée située à Kharrouba dans la Wilaya de Mostaganem. Cette habitation représente un appartement de type F3 comprend deux chambre, une cuisine, un salon, un hall, salle de bain un balcon et une cuisine qui équipé de divers appareils électriques. Notre projet s'étale sur trois chapitres.

Le premier chapitre nous avons abordé une présentation générale sur l'énergie solaire, comprenant la composition des panneaux photovoltaïques et leur mode de fonctionnement, ainsi que les éléments fondamentaux nécessaires à l'alimentation d'un site isolé par ces panneaux.

Le deuxième nous avons commencé par analyser et calculer la consommation totale d'énergie journalière des appareils électriques du site. À partir de cette estimation, nous avons déterminé la puissance crête nécessaire pour dimensionner le nombre de panneaux photovoltaïques requis pour répondre à cette demande énergétique, de plus, nous avons calculé la capacité de la batterie et le nombre nécessaire pour le stockage de l'énergie électrique. Pour garantir le bon fonctionnement de notre installation, nous avons également dimensionné le régulateur. Les onduleurs jouent un rôle crucial en convertissant le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif pour alimenter les appareils fonctionnant ainsi. Nous avons également effectué des calculs pour déterminer les sections de câbles nécessaires pour connecter les panneaux aux régulateurs et les régulateurs aux onduleurs, ces calculs étant essentiels pour assurer le bon fonctionnement de l'installation.

Dans cette étude de dimensionnement, nous avons observé une consommation journalière d'énergie significative sur le site est importante ce qui a conduit à une puissance crête du champ photovoltaïque importante. Ainsi nous avons obtenus, après calcul, un nombre important de panneaux photovoltaïques qui est de 43 panneaux. Pour les batteries de stockage de l'énergie nous avons obtenue un nombre de 40 batteries. Pour ce qui est des sections des conducteurs nous avons obtenue une section de 2.5mm^2 pour le câble raccordant les panneaux

à la boîte de raccordement. Entre la boîte de raccordement et le régulateur la section du câble est de 10 mm^2 . Entre le régulateur et l'onduleur la section du câble est de 35 mm^2 . Les résultats obtenus sont conforme à la réalité vu le nombre d'appareils électriques que contient ce site et l'énergie importante consommée.

Le dernier chapitre nous avons réalisé une simulation en utilisant le logiciel de dimensionnement PVsyst, en y intégrant les diverses puissances des appareils électriques pour déterminer les paramètres évalués dans la partie de dimensionnement théorique. Les résultats obtenus après simulation se sont avérés proches de ceux du dimensionnement théorique. De plus, nous avons obtenu des résultats complémentaires que nous avons interprétés et analysés, tels que l'emplacement géographique, les différentes irradiations et ensoleillements du site, les caractéristiques de courant et de puissance en fonction de la tension, ainsi que les diverses pertes. Ce logiciel s'est révélé efficace grâce à ses nombreuses bibliothèques permettant de simuler précisément le dimensionnement des sites isolés.

Comme perspective, une étude technico économique qui se traduit par l'évaluation du coût de cette installation doit être envisagée.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Beneddif Fatima Zohra, Beldjilali Assmaa, “Etude Dimensionnelle D’une Installation Photovoltaïque”, Mémoire de Master en génie mécanique option énergétique, Université - Ain-Temouchent Belhadj Bouchaib, 2021.
- [2] Moussane Souhila, Kiciri Sofiane “Gestion d’un système photovoltaïque avec Batteries” Mémoire de Master, Option Energie Renouvelable, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014.
- [3] Mekkaoui merouane, benkhedidja hamza ‘ Etude et dimensionnement d’un système photovoltaïque autonome application dans un école primaire, Mémoire de Master, Université de blida ,2023.
- [4] Nouadja Mohammed Islam, Amira Ahmed Chaouki, “Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque pour un système de pompage dans la région de Ouargla”, Mémoire de Master, option Electrotechnique Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2020.
- [5] Matallah Sorya, " Dimensionnement et simulation d’un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d’Ouargla ", mémoire de master en énergie renouvelable, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, juin 2015.
- [6] Hichem dahmani ,mohamed bouzaia ,” Etude et dimensionnement d’un système photovoltaïque dédié à une habitation ”, mémoire de master, université mouloud mammeri de tizi ousou, 2017
- [7] A.BiskeretM.Chiri. "Commande d’un système photovoltaïque en mode isolé et en mode connecté au réseau". Mémoire de Master école nationale polytechnique, 2012.
- [8] Helali Kamilia, " Etude d’une cellule photovoltaïque : étude comparative ", mémoire de master en électrotechnique, université mouloud mammeri de tizi ousou, 2012.
- [9] Aniss Yaker, Belkacem Belaid, “Dimensionnement d’une Centrale Photovoltaïque autonome”, Mémoire de Master, Option Réseaux Electriques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.
- [10] Zerrouki Zolikha, Bereksi Reguig Rym, “Dimensionnement d’un système photovoltaïque autonome”, Mémoire de Master Option Instrumentation Electronique, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 2017.
- [11] LABBÉ, Julien. “L’Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d’électricité pour systèmes photovoltaïques isolés”. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2006.
- [12] Boutte, A. “Identification des paramètres internes d’une batterie pour des applications photovoltaïques”, Thèse de doctorat, université d’Oran, 2015.
- [13] AZZOUG, Yamina. “Commande de la charge d'une batterie dans une installation photovoltaïque”. Thèse de doctorat. Université du Québec à Trois-Rivières, 2008.
- [14] IAMARENE, Samir. “Dimensionnement d’une installation photovoltaïque pour un site

(BTS, BSC) du réseau télécom wania”. Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2012.

[15] BENCHERIF, Mohammed. Modélisation des paramètres d’une batterie Plomb-Acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 2015.

[16] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/1358/1358-175-p32.pdf>.

[17] Fatma Meziani, "Dimensionnement et simulation d’une alimentation par panneaux photovoltaïques d’un site isolé, Mémoire de Fin d’Etudes de MASTER, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2022.

[18] Belabes Arezki, Cherif Aghiles, “Dimensionnement d’une Centrale Photovoltaïque Autonome de 16 kW”, Mémoire de Master Option Réseaux Electriques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.

[19] Yotto, H., “Etude et conception d’une mini-centrale Photovoltaïque pour l’alimentation d’une partie de l’installation électrique de la présidence de la republique du benin”. Mémoire de Master, 2011

[20] Mustapha, B., « Contribution à l’étude d’un générateur solaire pour site autonome », Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran Mohamed Boudiaf, 2015.

[21] Amara, K., « Contribution à l’étude de conception d’une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.

[22] Miloudi Lalia, Acheli Dalila, and Kesraoui Mohamed, (2017), «Application of Artificial Neural Networks for Forecasting Photovoltaic System Parameters», Applied Solar Energy, 53(2), 85–91.

[23] Azadeh A., Maghsoudi A., Sohrabkhani S., «An integrated artificial neural networks approach for predicting global radiation», Energy Conversion and Management. 2010.

[24] Mellit A. and Pavan A.M., (2010), « A 24-h Forecast of Solar Irradiance Using Artificial Neural Network: Application for Performance Prediction of a GridConnected PV Plant at Trieste, Italy», Solar Energy, 84(5), 807–821.

[25] Bailek N., Bouchouicha K., Al-Mostafa Z. et al. ,(2018), «A new empirical Model for forecasting the diffuse solar radiation over Sahara in the Algerian Big South», Renewable Energy, 117, 117-530.

[26] Daouda Hassane, “Etude de l’alimentation en énergie électrique d’un centre isolé par une centrale solaire photovoltaïque autonome”, Mémoire de Master option Réseaux Electrique, Institut International d’ingénierie de Ouagadougou, Burkina-Faso, 2019.

[27] Ihammouchen Syphax, Bahloul Islam, “Etude et dimensionnement d’une maison à énergie solaire”, Mémoire de Master, Option Energie Renouvelable, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2020.