



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Energie renouvelable

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Mabrouki abdeslam

Le : samedi 23 juin 2018

Dimensionnement et Étude d'un Système Photovoltaïque Autonome pour l'Alimentation Énergétique d'une Ferme Caméline dans la Région de Timimoun

Jury :

Mme TERKI Amel	Prof	Université de Biskra	Président
Mme BEKHOUCHA Nassima	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Mme KHELILI Fatiha	MCA	Université de Biskra	Examineur

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu le plus Puissant qui a bien Voulu nous donner la force, la volonté et le courage Pour effectuer Le présent travail.

Je remercie mes parents qui n'ont pas arrêté à m'encouragé et qui ont grandement aidé et contribué à la réussite dans mon parcours grâce à leurs sacrifices.

*Tous nos infinis remerciements à mon encadreur **Dr.** Bekhoucha Nassima pour son aide, ses conseils et ses remarques qui nous ont permis de présenter notre travail dans sa meilleure forme.*

*Nous voudrions tout d'abord remercier notre encadreur et Directeur de thèse, **Dr.** Bekhoucha Nassima, pour le temps qu'il a consacré à nos apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence nos grandement stimulé. et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion*

*Je remercie sincèrement tous les membres du jury **Prof.** Terki Amel et **Dr.** Khelili Fatiha, qui ont accepté de juger ce travail et pour l'intérêt qui l'ont porté à ce dernier. Merci beaucoup pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions également tous les responsables de Laboratoire de Génie Electrique **LEGB** pour leurs efforts et leur aide dans notre recherche.*

Nous tenons à remercier profondément tous les enseignants du Département génie électrique et laboratoire d'énergie renouvelable à l'université de BISKRA

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à l'élaboration de ce modeste travail

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre Circus universitaire.

Tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et profond respect.

Dédicace

*C'est avec honneur que je dédie ce travail à mes
très chers parents,
À ma mère Fatma*

*Les mamans mordantes méritent d'être célébrées, tu
mérites toute une procession, merci beaucoup maman
d'avoir travaillé si dur pour m'élever comme ça, je sais
que c'était vraiment stressant, et j'apprécie vraiment ce
que tu as toujours fait pour moi.*

À mon père Bahous

*Chaque ride et chaque ride du visage de mon père est
une histoire de bonheur que j'ai vécue. Merci. Que Dieu
prolonge ta vie. Tu es ma fierté et mon soutien dans la
vie.*

*À ma chère sœur mariem ,Abire,Noura, et Ritadje
À mes frères : mohamed lamnie, Abdelhamid et Fath
allh*

A tous mes amis..

*Et à toutes les personnes qui
ont contribué de près ou de loin À la réalisation de ce
travail.*

ملخص

يهدف هذا البحث إلى عرض طرق نظرية مختلفة لحساب نظام الطاقة الشمسية ومقارنتها مع منهج عددي للمحاكاة. وقد اخترنا مزرعة جمال في موقع صحراوي بتيميمون؛ لتحقيق أبعاد هذه البنية التحتية، من الضروري معرفة مكان تواجد الألواح الشمسية بدقة، بالإضافة إلى مدة التعرض الشمسي وحجم الطاقة المنتجة. وقد اخترنا تحديد أفضل منهجية لأكثر الشهور غير المواتية، باستخدام محاكاة برنامج PV SYST لتطوير وتصميم الأنظمة الكهروضوئية.

الكلمات المفتاحية :

الطاقة الشمسية، النظام المستقل، تصميم الطاقة الشمسية، الكهرباء الريفية، PV SYST

Résumé

Cette recherche vise à présenter différentes méthodes théoriques pour le calcul d'un système solaire et à les comparer avec une approche numérique de simulation. Nous avons choisi la ferme de Jamal dans un site désertique à Timimoune ; pour réaliser les dimensions de cette infrastructure, il est nécessaire de connaître précisément l'emplacement des panneaux solaires, ainsi que la durée d'exposition au soleil et la quantité d'énergie produite. Nous avons choisi de déterminer la meilleure méthodologie pour les mois les plus défavorables, en utilisant la simulation du logiciel PV SYST pour le développement et la conception des systèmes photovoltaïques.

Mots clés : énergie solaire, système autonome, dimensionnement de système photovoltaïque, électrification rurale, PV SYST.

Abstract

The objective of this study is to present different theoretical methods for calculating the solar energy system and compare them with a numerical simulation approach. We selected a camel farm in the Saharan region of Timimoune ; to determine the dimensions of this infrastructure, it is essential to accurately identify the placement of solar panels, as well as the duration of sun exposure and the amount of energy generated. We chose to select the best approach for the most unfavorable month, using PV SYST software simulation to design and develop photovoltaic systems.

Keywords: solar energy, off grid system, sizing of photovoltaic system, rural electrification, PV SYST.

Liste des figures

Fig I.1: Le spectre de rayonnement solaire	4
Fig I.2: Irradiation globale et durée d'ensoleillement annuel en Algérie	4
Fig I.3: Les valeurs de l'albédo selon la surface du sol.....	6
Fig I.4: Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.....	7
Fig I.5: Les coordonnées géographiques latitude et longitude	8
Fig I.6: Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil	9
Fig I.7: Position du soleil	10
Fig I.8: Représentation de l'azimut et l'angle d'horaire	11
Fig I.9: Configuration des cellules photovoltaïque.....	12
Fig I.10: Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	13
Fig I.11: trois types de raccordement de modules photovoltaïque.....	14
Fig I.12: Cellule photovoltaïque au silicium mono- cristallines.....	14
Fig I.13 : Cellule photovoltaïque au silicium polycristallin	15
Fig I.14: Cellules photovoltaïque au silicium amorphe	16
Fig I.15: Schéma électrique équivalent d'une cellule Photovoltaïque :(modèle à une diode).....	16
Fig I.16: le caractéristiques P(V) ;et I(V) d'une cellule Photovoltaïque.....	19
Fig I.17: Structure d'un système PV autonome.....	21
Fig I.18: Système PV autonome sans batterie (a), avec batterie (b)	22
Fig I.19: schéma photovoltaïque connecté au réseau	22
Fig I.20: système hybride	23
Fig II.1: Les composants du système photovoltaïque autonome.....	28
Fig II.2: Batterie de type AGM.....	29
Fig II.3: Batterie de type GEL.....	30
Fig II.4: Batterie au plomb ou liquide.....	30
Fig II.5: batterie au lithium-ion	31
Fig II.6: Types de raccordement des batteries solaires.	32
Fig II.7: Onduleur solaire.....	32
Fig II.8: Onduleurs non autonomes (connecté au réseau).....	33
Fig II.9: Onduleurs non autonomes (connecté au réseau).....	34

Fig II.10: Onduleur hybride ou intelligent	34
Fig II.11: Régulateur de charge/décharge solaire	35
Fig II.12: Angle d'inclinaison des panneaux photovoltaïques	39
Fig II.13: Capteur thermique.....	47
Fig II.14: Solari mètre.....	47
Fig II.15: Représentation d'une mesure à l'aide d'un multimètre.....	48
Fig III.1 : Désignation du projet dans PVSYST.....	51
Fig III.2: la page principale de PVSYST	52
Fig III.3: Désignation du projet dans PVSYST	53
Fig III.4: localisation géographique de site Timimoune choisie	54
Fig III.5 Coordonnées géographiques du site de Timimoune.....	54
Fig III.6: Paramètre climatiques du site de Timimoune.....	55
Fig III.7: trajectoire du soleil à site Timimoune	56
Fig III.8: Orientation et d'inclinaison du panneau solaires (plan incliné fixe).....	57
Fig III.9: Schéma simplifié d'une installation PV autonome	57
Fig III.10: Détermination la consommation journalière de l'utilisateur.....	59
Fig III.11: Distribution horaire de la charge	60
Fig III.12: Appels de puissance au cours d'une journée	60
Fig III.13: Dimensionnement du champ PV	63
Fig III.14: Coût prévisionnel du système énergétique solaire pour la ferme caméline.....	63

Liste des tableaux

I.1	Le taux de lever du soleil pour chaque région de l'Algérie	03
I.2	Les valeurs de l'albédo selon la surface du sol	05
II.1	Charges électriques dans une ferme de chameaux.	35
II.2	les coordonnées météorologique du site de «Timimoune »	38
II.3	Inclinaison du panneau photovoltaïque	38
II.4	Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïque	40
II.5	Fiche technique de panneau de type :TSM-200 D05	40
II.6	Fiche technique de la batterie choisie (Lithium –ion NMC)	41
III.1	Coût prévisionnel du système énergétique solaire pour la ferme caméline	53

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	vii

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE ET LE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

I.1. Introduction	1
I.2. Définition de l'énergie solaire	1
I.3. Types de l'énergie solaire	2
I.4. Spectre solaire	2
I.5. Le solaire en Algérie : potentiel et capacité installée	2
I.6. Les composantes du rayonnement solaire reçu au sol	3
I.6.1. Rayonnement direct	4
I.6.2. Rayonnement diffus	4
I.6.3. Rayonnement solaire réfléchi (albédo)	4
I.6.4. Rayonnement global	5
I.7. Rappel sur les systèmes de coordonnées	5
I.7.1. Coordonnées géographiques terrestres	5
I.7.2. Coordonnées équatoriales	6
I.7.3. Coordonnées angulaires horizontales	7
I.8. Énergie photovoltaïque	9
I.9. L'effet photovoltaïque	9
I.10. Assemblage des modules photovoltaïques	10
I.11. Différentes technologies des cellules PV	11
I.11.1. Cellules au silicium monocristallin	11
I.11.2. Cellules au silicium multicristallin	12
I.11.3. Cellules au silicium amorphe	12
I.12. Modèle à une diode	13
I.13. Paramètres caractérisant les cellules photovoltaïques	14
I.14. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques	15
I.15. Les différents types de systèmes photovoltaïques	16
I.15.1. Systèmes photovoltaïques autonomes	16
I.15.2. Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau	18
I.15.3. Systèmes hybrides	18
I.16. Dimensionnement des systèmes photovoltaïques	19
I.16.1. Le but du dimensionnement	19
I.16.2. Les méthodes de dimensionnement	19
I.17. Conclusion	20

CHAPITRE II : DIMENSIONNEMENT DE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME

II.1. Introduction	21
II.2. Définition de système photovoltaïque autonome	21
II.3. Composants d'un système photovoltaïque autonome	22
II.3.1. Panneaux solaires	22
II.3.2. Batteries solaires	23
II.3.3. Onduleur solaire	26
II.3.4. Régulateur solaire	28
II.4. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque	29
II.4.1. Estimation des besoins journaliers	29
II.4.2. Orientation et inclinaison des panneaux	32
II.4.3. Puissance crête du champ photovoltaïque	34
II.4.4. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques	35
II.4.5. Dimensionnement des batteries	36
II.4.6. Dimensionnement de l'onduleur	37
II.4.7. Dimensionnement du régulateur	39
II.4.8. Dimensionnement des câbles	39
II.5. L'objectif de la surveillance des systèmes photovoltaïques	41
II.5.1. Objectifs de la maintenance	41
II.5.2. Objectifs de la surveillance	42
II.5.3. Technologies de surveillance	42
II.6. Conclusion	43

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

III.1. Introduction	45
III.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST	45
III.3. Désignation du projet	46
III.4. Situation géographique de site de Timimoune	47
III.5. Données météorologiques du site	49
III.6. Orientation et inclinaison des modules	49
III.7. Trajectoire de soleil	50
III.8. Schéma de l'installation PV	51
III.9. Détermination des besoins électriques	52
III.10. Distribution horaire de la charge	53
III.11. Simulation des équipements énergétique	53
III.12. Estimation budgétaire détaillée	55
III.13. Conclusion	56

CONCLUSION GÉNÉRALE	57
----------------------------------	-----------

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58
--	-----------

Introduction générale

L'énergie photovoltaïque, ou électricité produite à partir de la lumière, est une énergie renouvelable qui se développée à pas de géants, le recours à cette énergie propre et durable nombre est un progrès avéré, en terme d'impacts tant sur l'homme que sur notre planète [1]. Les énergies renouvelables sont une nécessité incontournable pour garantir la durabilité du secteur agricole, en particulier dans les zones éloignées et isolées. Parmi ces solutions, le système photovoltaïque autonome se distingue comme une option idéale pour répondre aux besoins énergétiques des fermes et des installations agricoles, grâce à l'abondance de l'énergie solaire dans de nombreuses régions et à son coût compétitif par rapport aux sources d'énergie traditionnelles.

L'accès à l'énergie constitue un enjeu majeur pour le développement des zones rurales et isolées, en particulier dans les régions sahariennes où le raccordement au réseau électrique national est souvent inexistant ou peu fiable. La région de Timimoun, située au cœur du Sahara algérien, bénéficie d'un potentiel solaire exceptionnel, avec plus de 3000 heures d'ensoleillement par an, ce qui en fait un lieu idéal pour l'exploitation de l'énergie solaire.

Dans ce contexte, l'utilisation des systèmes photovoltaïques autonomes s'impose comme une solution durable, propre et économiquement viable pour répondre aux besoins énergétiques des exploitations agricoles, notamment les fermes camélines. Ces dernières nécessitent une alimentation électrique régulière pour assurer le pompage de l'eau, la réfrigération du lait, l'éclairage et divers équipements essentiels à la gestion quotidienne de l'élevage. Le présent travail s'inscrit dans cette logique de transition énergétique et de valorisation des ressources renouvelables locales. Il vise à concevoir et dimensionner un système photovoltaïque autonome capable de couvrir l'ensemble des besoins énergétiques d'une ferme caméline située à Timimoun, en tenant compte des contraintes environnementales, techniques et économiques spécifiques à la région.

L'objectif de ce travail est de dimensionner un système PV autonome pour alimenter une ferme de chameaux avec la méthode de la simulation de système autonome par logiciel **PVSYST**. Afin d'accomplir au mieux cette étude, dans lequel on se base sur qui permet de bien dimensionner les différents éléments de notre système. le présent mémoire est structuré en trois chapitres en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Pour cela, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres :

- Au premier chapitre, sera consacré aux généralités sur le photovoltaïque, commence par une définition de l'énergie solaire et explication de principe de l'effet

photovoltaïque ainsi que la différente technologie des cellules photovoltaïques ; et par suite nous présentons le potentiel solaire en algérie.et les different types des systèmes photovoltaïque et explication des méthodes de dimensionnement.

- Ensuite, le second chapitre nous allons présenter et discuté les résultats d'étude de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome pour l'alimentation électrique du Ferme de caméline de site dessertie.
- Enfin ; le troisième chapitre, Nous avons modélisé et simulé le dimensionnement de système autonome (off-grid) avec logiciel **PVSYST** et analyser sa performance technique-économique et environnementale.

A la fin de cette mémoire nous terminerons une conclusion générale avec des résultats et discussion.

Introduction

L'énergie solaire représente l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses pour répondre aux défis énergétiques mondiaux. Issue du rayonnement du soleil, elle est abondante, propre et inépuisable. Parmi les différentes technologies permettant de valoriser cette énergie, le système photovoltaïque occupe une place centrale. Ce dernier repose sur l'effet photovoltaïque, un phénomène physique qui permet de convertir directement la lumière du soleil en électricité grâce à des cellules photovoltaïques, généralement à base de silicium. Ces systèmes sont utilisés aussi bien à petite échelle, pour alimenter des habitations, qu'à grande échelle, dans les centrales solaires. Face à la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de diversifier les sources d'approvisionnement énergétique, l'énergie solaire photovoltaïque s'impose aujourd'hui comme une alternative durable et efficace.

Dans ce premier chapitre, d'abord une vue d'ensemble sur les énergies renouvelables a été présentée, avec un accent particulier sur l'énergie solaire photovoltaïque. Les principes de conversion de l'énergie solaire, l'effet photovoltaïque, les leurs inconvénients. Ce chapitre a également pour but d'introduire les bases nécessaires à la compréhension et à la conception d'un système photovoltaïque autonome ou raccordé au réseau. Enfin, les principales méthodes de dimensionnement de ces systèmes ont été décrites, telles que la méthode énergétique basée sur les besoins en consommation, la méthode du bilan journalier et les approches utilisant des logiciels de simulation. Paramètres clés, ainsi que les différents types de cellules et de systèmes photovoltaïques ont été abordés, en soulignant leurs avantages.

1.2 Définition de l'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables (même si le soleil disparaîtra un jour). L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique sous forme de courant continu. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque [1].

I.3 Types de l'énergie solaire

On utilise l'énergie solaire en captant les rayons du soleil et en transformant en électricité ou en utilise leur chaleur, il existe trois types d'énergie solaire sont :

- L'énergie solaire photovoltaïque
- L'énergie solaire thermique
- L'énergie solaire thermodynamique

Dans ce type l'exploitation photovoltaïque de l'énergie solaire, à partir de l'utilisation des modules ou panneaux photovoltaïque, composée de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation.

I.4 Spectre solaire

Le spectre solaire et la distribution spectrale en fonction de la longueur d'onde (λ) ou de la fréquence (ν). Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde qui varie entre de **0,22 à 10 μm** . La Figure (I.1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement [2].

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ($0,20 < \mu < 0,38 \mu\text{m}$).
- 48% dans la bande visible ($0,38 < \mu < 0,78 \mu\text{m}$).
- 45,6% dans la bande des infrarouges ($0,78 < \mu < 10 \mu\text{m}$)

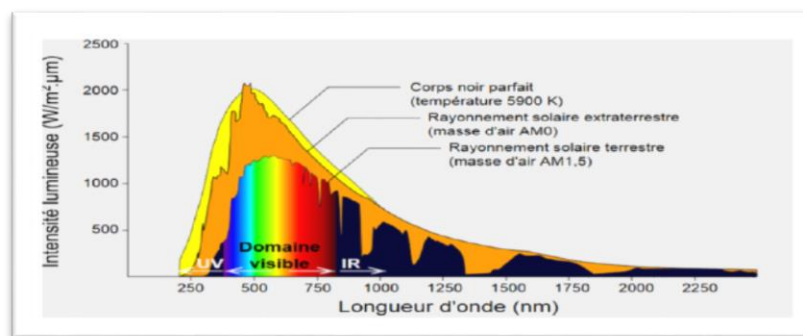


Figure (I.1) : Le spectre de rayonnement solaire.

I.5 Le solaire en Algérie, potentiel et capacité installée

L'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie reçue quotidiennement

sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays [3].

Les cartographies ci-après présentent la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale en Algérie, ainsi que la durée d'ensoleillement annuel.

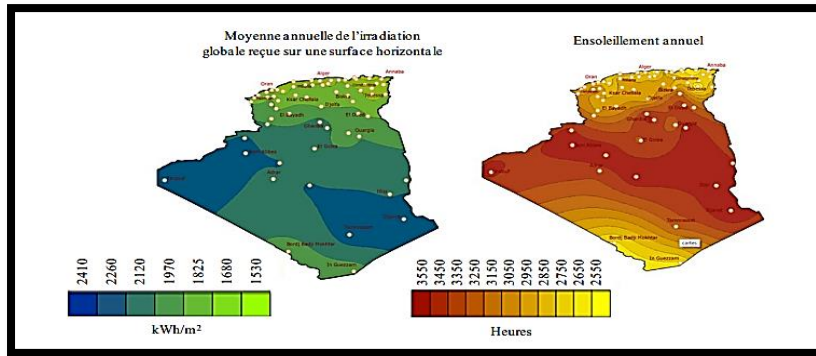


Figure (I.2) : Irradiation globale et durée d'ensoleillement annuel en Algérie [4].

Le tableau suivant illustre les statistiques des degrés d'ensoleillement par zones :

Régions	Littoral	Hauts-Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau (I.1) : Le taux de lever du soleil pour chaque région de l'Algérie [5].

I.6 Les composantes de rayonnement solaire reçu au sol

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie **entre 0.2 et 4.10^{-6} m.** sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbe.

Le rayonnement solaire appelé également rayonnement électromagnétique émis par le soleil est grandement perturbé par l'atmosphère. Ce qui ne permet que la réception au sol des composants les plus importants et les plus actifs du rayonnement solaire total qui sont le rayonnement direct et le rayonnement diffus. La partie réfléchi (l'albédo) par le sol du rayonnement solaire global.

Le rayonnement solaire au sol se divise en plusieurs rayonnements, directs, diffus, réfléchis et globale à partir des conditions physiques quel que soit l'atmosphère (les caractéristiques de l'atmosphère soit massique ou thermique) à travers l'année [Book].

I.6.1 Le rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct est celui qui atteint le sol sans diffusion atmosphérique. Son spectre diffère de celui reçu en haute atmosphère en raison de l'absorption par les gaz atmosphériques, notamment l'ozone, le dioxyde de carbone et surtout la vapeur d'eau, qui atténuent fortement certaines longueurs d'onde du rayonnement.

I.6.2 Le rayonnement diffus

La diffusion lumineuse se produit dans un milieu contenant des particules ou molécules fines, et son intensité dépend de la taille de ces particules. Selon la loi de Rayleigh, les courtes longueurs d'onde (comme le bleu) sont plus diffusées que les longues (comme le rouge), expliquant la couleur bleue du ciel et le rouge du coucher du soleil. Les molécules diffusent la lumière dans toutes les directions, tandis que les grosses particules, comme les gouttelettes de nuage, diffusent principalement vers l'avant.

I.6.3 Le rayonnement solaire réfléchi ou (l'albédo du sol)

Le rayonnement solaire réfléchi c'est-à-dire renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.

$$\text{Albédo} = \frac{\text{rayonnement réfléchi}}{\text{rayonnement reçu}}$$

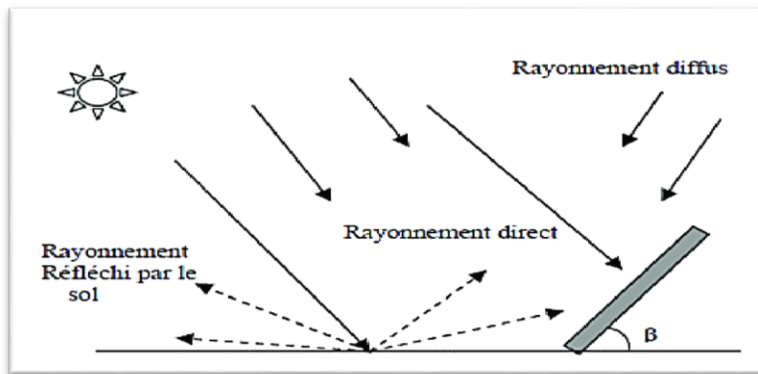
Il y a quelques valeurs de l'albédo selon la surface du sol :

Surface du sol	Albédo
Surface d'eau	0.03 à 0.1
Forêt	0.05 à 0.2
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nu	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraîche	0.8 à 0.95

Tableau (I.2) : Les valeurs de l'albédo selon la surface du sol [7].

I.6.4 Le rayonnement global

On appelle rayonnement global le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct pondéré par le cosinus de l'angle zénithal du soleil.



Figure(I.3) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

I.7 Rappel sur les systèmes des coordonnées

I.7.1 Les coordonnées géographiques terrestres

Tout point de la surface de la terre est déterminé par ces coordonnées géographiques : longitude (φ), latitude (Φ) et altitude (z). Ces coordonnées sont représentées par des angles solaires, qui sont des références importantes pour le calcul du rayonnement solaire.

- **Latitude (Φ)**

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud [8].

- **Longitude (φ)**

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement Est-Ouest d'un point sur Terre par rapport au méridien d'origine. C'est donc une mesure angulaire

sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de $+180^\circ$ à -180° ou 180° Est à 180° Ouest. Généralement, cette grandeur est notée L [9].

- **L'altitude du lieu (z)**

L'altitude est la distance verticale exprimé en mètre, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer. (Niveau moyen de la mer = ± 0.00), pris comme surface de référence [10].

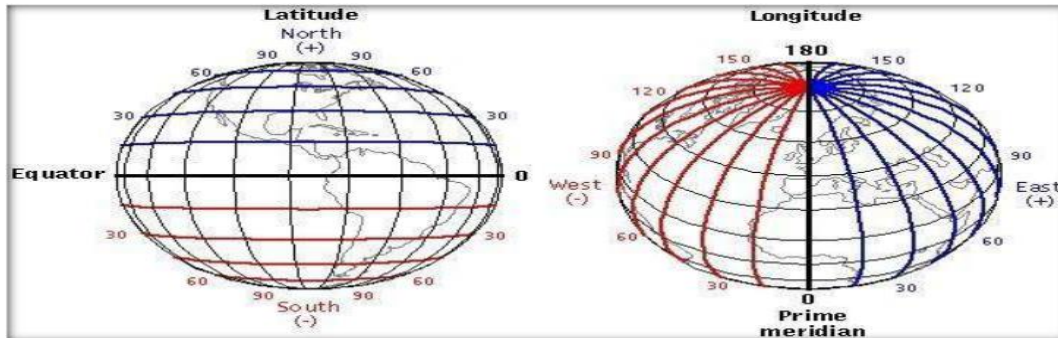


Figure (I.4) : Les coordonnées géographiques latitude et longitude.

I.7.2 Coordonnées équatoriales

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de la déclinaison (δ) et l'angle horaire (ω).

I. 7.2.1 La déclinaison de soleil (δ)

La déclinaison solaire est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons.

Nous appelons la déclinaison (δ) l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial, comme le montre la figure (I.2). Ils varient au cours de l'année entre **-23,45 degrés** et **+23,45 degrés**. Il est nul à l'équinoxe (21 mars et 21 septembre), maximum au solstice d'été (21 juin) et minimum au solstice d'hiver (21 décembre). la valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation (I.2) :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + j) \right] \quad (I.1)$$

Où :

j : Le nombre de jours de l'année compté à partir du 1er janvier, il varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année : [Année civile $\rightarrow j=365$ jours et Année bissextile $\rightarrow j=366$ jours].

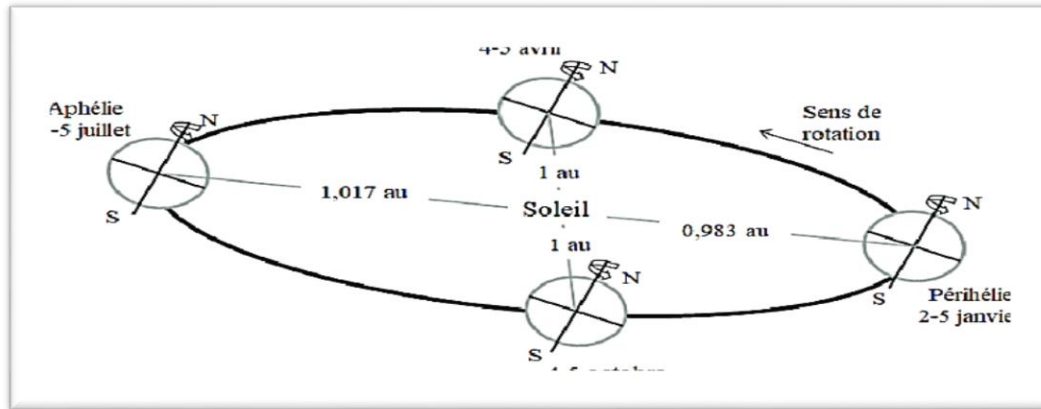


Figure (I.5) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil .

I.7.2.2 L'angle horaire du soleil (ω)

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local.

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures) [11].

$$\omega = 15[TSV - 12] \quad (I.2)$$

Avec :

ω : L'angle horaire en degré

TSV : temps solaire vrai en heure

I.7.3 Coordonnées angulaires horizontal

La position apparente du Soleil est généralement déterminée par deux angles, l'azimut (α) et la hauteur angulaire (h) par rapport au plan horizontal.

- **L'azimut (α)**

Angle entre la projection de la direction du soleil (OS), sur le plan horizontal et le Sud, il est compté positivement vers l'Ouest et négativement vers l'est, et il varie de 0 jusqu'à 90° [12].

Ils sont donnés par la formule suivant :

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) \times \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.3})$$

Où :

δ : La déclinaison solaire en (Degré)

ω : L'angle horaire en (Degré)

Ces deux angles sont représentés sur la figure (I.6) :

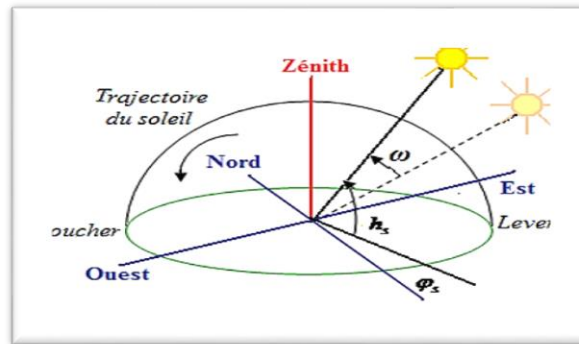


Figure (I.6) : Position du soleil.

- **La hauteur angulaire (h)**

Angle compris entre l'horizon astronomique et l'axe issu du point considéré au soleil. Il est compté de 0° et 90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Nord (zénith) et de 0° à -90° si le soleil se trouve l'hémisphère sud (Nadir) [13].

La hauteur du soleil est représentée par une formule bien connue est donnée par :

$$\sin(h) = \sin\phi \times \sin\delta + \cos\phi \times \cos\delta \times \cos\omega \quad (\text{I.4})$$

La hauteur du soleil varie entre -90° et $+90^\circ$.

- $h = 0$ aux lever et coucher
- $h > 0$ le jour
- $h < 0$ la nuit.

Avec :

Φ : Latitude de lieu en (Degré)

δ : La déclinaison du soleil en (Degré)

ω : L'angle horaire en (Degré)

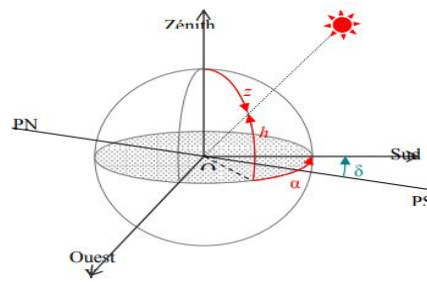


Figure (I.7) : Représentation de l'azimut et l'angle d'horaire.

I.8 Énergie Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque fait référence à l'électricité produite en convertissant une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner un phénomène physique - l'effet photoélectrique - ou la technologie qui lui est associée. L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie .

I.8.1 Configuration des modules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont reliées électriquement en série et/ou en parallèle pour produire des tensions et/ou des courants plus élevés. les modules photovoltaïques se composent par des cellules photovoltaïques liées entre eux, ces modules peuvent former une unité d'un panneau photovoltaïque complet. les panneaux photovoltaïques incluent plus d'un module de PV assemblé comme unité pré câblée et peut s'installer sur place, qui est l'unité génératrice de puissance complète, comme l'indique la (Figure I.8) :

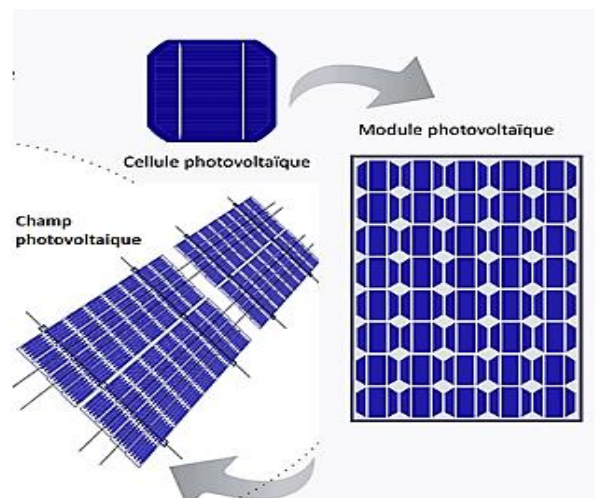


Figure (I.8) : Configuration des cellules photovoltaïque

I.9 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p . Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p .

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p . Une jonction (**dite $p-n$**) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p , une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel : le courant électrique circule voir la **figure (I.9)** [13].

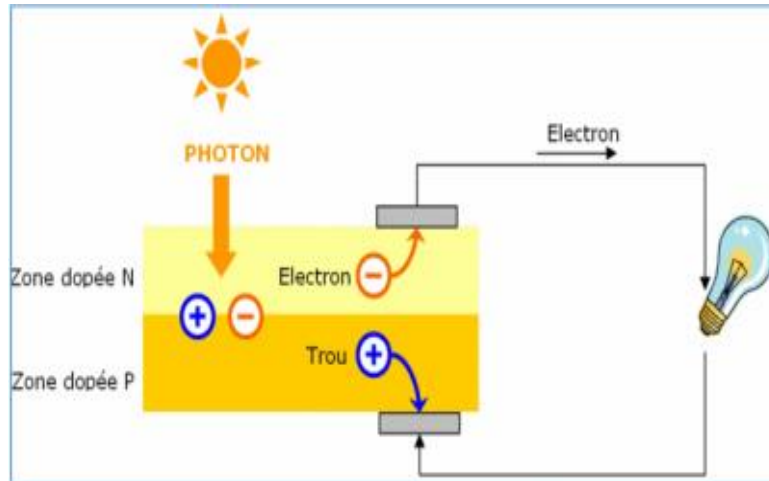


Figure (I.9) : Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

I.10 Assemblage des modules photovoltaïque

On distingue trois types de raccordement de modules photovoltaïque :

- **Raccordement série :** dans ce mode la tension augmente mais le courant reste lui-même.
- **Raccordement parallèle :** dans ce mode le courant augmente mais la tension reste elle-même.

- **Raccordement mixte (série-parallèle) :** dans ce mode le courant et la tension augmentent.

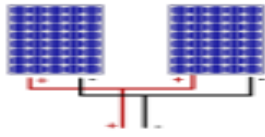
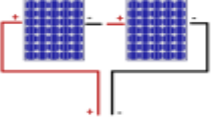
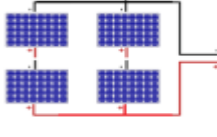
		
a-Assemblage des modules en série	b-Assemblage des modules en parallèle	c- Assemblage des modules en mixte (série – parallèle)

Figure (I.10): trois types de raccordement de modules photovoltaïque.

I.11 Différentes technologies des cellules PV

Il existe différents types cellules photovoltaïques, répartie à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandus sont à base de silicium, notamment d'autres matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques. On cite ci-dessous les types de cellules photovoltaïques les plus répandus [14].

I.11.1 Les cellules à base de silicium monocristallin

Le silicium est fondu deux fois pour se solidifier en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Leur rendement est de l'ordre de « 14% à 20% », et engendrent un coût de production plus élevé que les cellules polycristallines [15].

Figure (I.11) : Cellule photovoltaïque au silicium mono- cristallines.

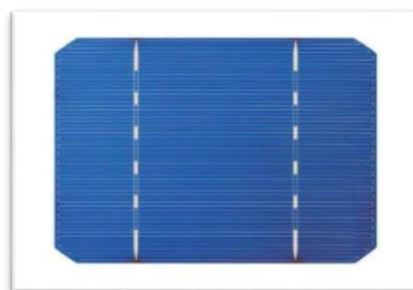


Figure (I.11) : Cellule photovoltaïque au silicium mono- cristallines.

I.11.2 Les cellules à base de silicium multi cristallin (poly cristallin)

Il est composé de petits grains de silicium cristallin (Figure I.12). Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14% [16].



Figure (I.12) : Cellule photovoltaïque au silicium polycristallin.

I.11.3 Les cellules à base de silicium amorphe

Le terme amorphe vient du grec (**a** : sans, **morphe** : forme) et signifie qui n'a pas de forme. En physique, on appelle amorphes les éléments dont les atomes présentent des formes irrégulières. Si les atomes ont une structure ordonnée. On les appelle des cristaux. Pour la fabrication de cellules solaires amorphes, on applique le silicium sur un matériau support, comme par exemple le verre. L'épaisseur du silicium s'élève alors à environ 0.5 à 2 μm . Ainsi, non seulement la quantité de silicium requise est-elle assez faible, mais le découpage fastidieux des blocs de silicium n'est-il pas nécessaire. Le degré de rendement des cellules solaires amorphes se situe seulement à 6-8 % [17].

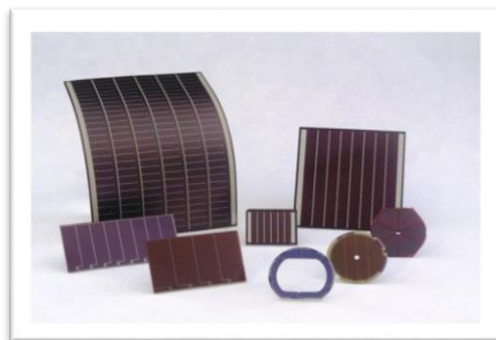
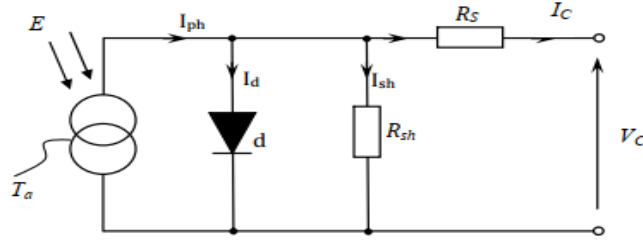


Figure (I.13) : Cellules photovoltaïque au silicium amorphe.**I.12 Modèle à une diode**

La caractéristique (I-V) d'une cellule élémentaire est modélisée par le circuit équivalent représenté par la figure (I.13) ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances série (R_s) et parallèle (shunt) (R_{sh}) (pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule [18, 19].

**Figure (I.14) :** Schéma électrique équivalent d'une cellule Photovoltaïque : (modèle à une diode)

Avec :

E : Eclairement (W/m^2)

T_a : température ambiante en ($^{\circ}C$)

R_{sh} : Résistance shunt qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui intervient entre les bornes opposées positive et négative d'une cellule (Ω).

R_s : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours (résistance de contact) (Ω).

D : Diode matérialisant le fait que le courant ne circule que dans un seul sens.

R_{ch} : Résistance qui impose le point de fonctionnement sur la cellule en fonction de sa caractéristique courant-tension à l'éclairement considéré (Ω).

$$\begin{cases} I_{ph} = I_d + I_p + I_{pv} \\ I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \\ V_d = V + R_s I \end{cases} \quad (I.5)$$

Avec :
$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{V_{th}}\right) - 1 \right] \quad (I.6)$$

$$\begin{cases} V_{th} = \frac{a.T.K}{q} \\ I_p = \frac{V_p}{R_{sh}} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \end{cases} \quad (I.7)$$

Donc l'équation (I.6) devient :

$$I = I_{ph} - \left[\exp \left(\frac{V}{a.V_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (I.8)$$

Généralement, l'effet de la résistance parallèle du circuit électrique équivalent est négligé, car son influence n'est prépondérante que pour des niveaux d'éclairement très bas.

Donc le courant de sortie fourni par la cellule est :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{\left(\frac{a.T.k}{q} \right)} \right) - 1 \right] \quad (I.9)$$

Où :

I_{ph} : Photo courant en (A)

I_d : Courant de la diode en (A)

V_C : la tension à la borne de la cellule en (V)

I_0 : le courant de saturations de polarisation inverse de la diode en (A)

I : le courant de sortie de la cellule en (A)

a : facteur d'idéalité de la diode

T : la température de la cellule photovoltaïque en (K)

K : constante de Boltzmann en J/K ($K=1.38.10^{-23}$ J)

q : la charge de l'électron ($1.6. 10^{-19}$ C)

V_{th} : Tension thermique en (V)

I.13 Paramètres caractérisant les cellules photovoltaïques

A partir de la caractéristique courant-tension, d'une cellule sous obscurité et sous éclairement, on peut évaluer les performances ainsi que le comportement électrique de la cellule photovoltaïque. Une cellule photovoltaïque est caractérisée par un rendement de conversion η , une tension à circuit ouvert V_{co} , un courant de court-circuit I_{cc} et un facteur de forme FF. Les caractéristiques courant-tension sont utilisées pour déterminer ces paramètres, Ces caractéristiques permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques.

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivants :

- Le courant de court-circuit (I_{cc}).
- La tension en circuit ouvert (V_{co}).
- Le facteur de forme (FF).
- Le rendement de conversion d'énergie (η)

Les paramètres permettent d'évaluer leurs performances électriques à partir de la courbe courant-tension (I-V) et puissance -tension (P-V), mesurée en obscurité et sous éclairement. Ces paramètres fondamentaux sont :

- **Le courant de court-circuit (I_{cc})** : courant maximal fourni lorsque les bornes de la cellule sont en court-circuit (tension nulle).
- **La tension en circuit ouvert (V_{co})** : tension maximale mesurée lorsque le circuit est ouvert (aucun courant).
- **Le facteur de forme (FF)** : indicateur de la "qualité" de la cellule, il est le rapport entre la puissance maximale réelle et la puissance idéale ($I_{cc} \times V_{co}$).
- **Le rendement de conversion (η)** : rapport entre la puissance électrique maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse reçue.

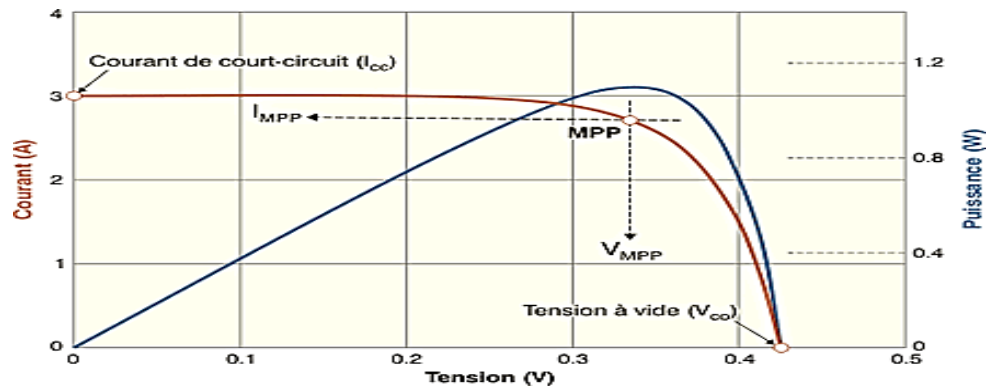


Figure (I.15) : les caractéristiques P(V) et I(V) d'une cellule Photovoltaïque

➤ Les conditions standards

Les constructeurs de panneaux solaires spécifient les performances de leur matériel dans les conditions normalisées citées ci-dessus :

- Eclairement solaire 1000 W/m²
- Température 25°C
- Spectre solaire 1.5AM

I.14 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques

I.14.1 Avantages des systèmes photovoltaïques

- ✓ Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- ✓ Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.

- ✓ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes. Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets [20].

I.14.2 Inconvénients des systèmes photovoltaïques

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28% ; les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Occupation d'un espace important pour l'installation de grandes dimensions [21].

I.15 Les différents types des systèmes photovoltaïques

Les systèmes PV sont des générateurs, qui convertissent directement l'énergie du soleil en électricité. Parmi les systèmes PV, nous trouvons les systèmes autonomes pour alimenter les sites isolés, les systèmes hybrides, ainsi que les systèmes PV raccordés au réseau électrique. Un système PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : le générateur PV, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge.

Il existe différents types de générateurs en fonction du service et des applications recherchées :

➤ Système photovoltaïque autonomes (off –grid)

Un système PV autonome est également appelé système hors réseau (non connectés au réseau) et est utilisé dans les régions éloignées où le réseau électrique n'existe pas. Ce type de système photovoltaïque comprend la production d'électricité par la conversion photovoltaïque, le stockage de l'énergie sous forme de batteries ou de piles à combustible et la régulation. L'utilisateur peut utiliser l'énergie qui est stockée dans des batteries produites par des panneaux solaires à tout moment (figure I.15), conformément à la demande de charge. Un

régulateur est utilisé pour réguler correctement la tension générée à l'extrémité de la charge. A un générateur de secours peut être utilisé en cas d'urgence [22].

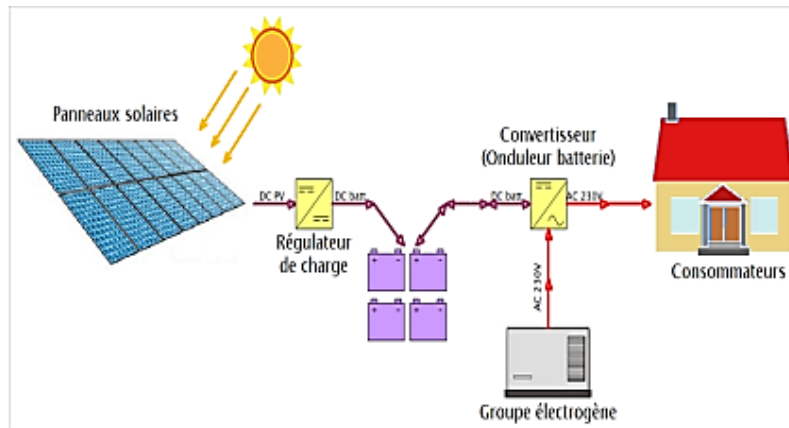


Figure (I.16): Structure d'un système PV autonome.

Un système photovoltaïque autonome est réservé pour les sites isolés. Il est composé dans son ensemble d'un :

- Modules photovoltaïques
- Contrôleur de charge
- Moyen de stockage (batteries)
- Disjoncteur
- Convertisseur CC/CA

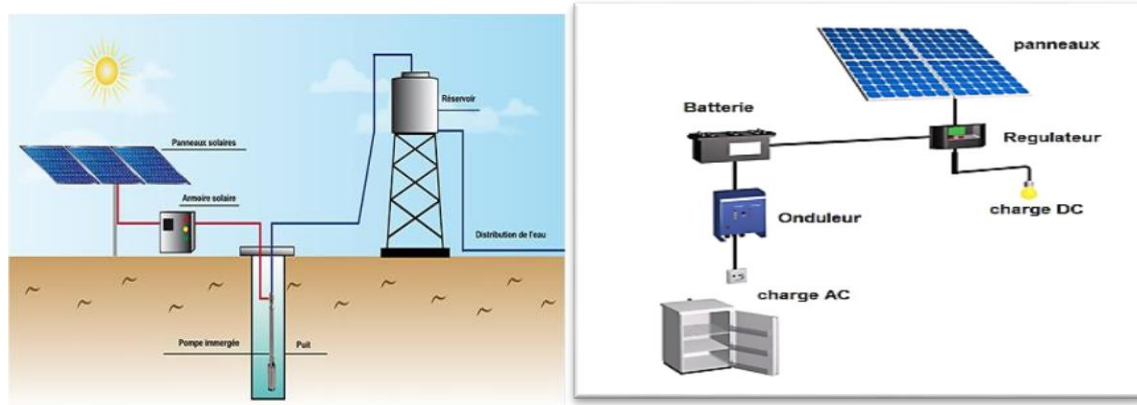
Les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- **Système autonome avec stockage**

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage, soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex : pompe à eau : le réservoir d'eau sert de stockage) [23].

- **Système autonome sans stockage électrochimique (aux files de soleil)**

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. par exemple, ce système est bien adapté .



(a)

(b)

Figure (I.17) : Système PV autonome sans batterie (a), avec batterie (b)

- Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau (On- grid)

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement [24].

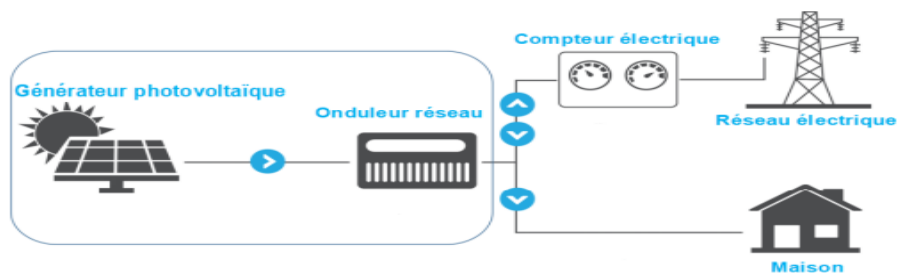


Figure (I.18) : schéma photovoltaïque connecté au réseau

L'installation photovoltaïque connectée au réseau se compose :

- Des panneaux photovoltaïques couplés en série et/ou en parallèle
- Coffret électrique de protection courant continu DC
- Onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif avec une fréquence 50HZ
- Coffret électrique de protection courant alternatif AC
- Kit de câblage AC et DC
- Structure métallique en aluminium
- Compteur bidirectionnel

- Systèmes hybrides

Un système d'énergie hybride est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources

différentes permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées [25].

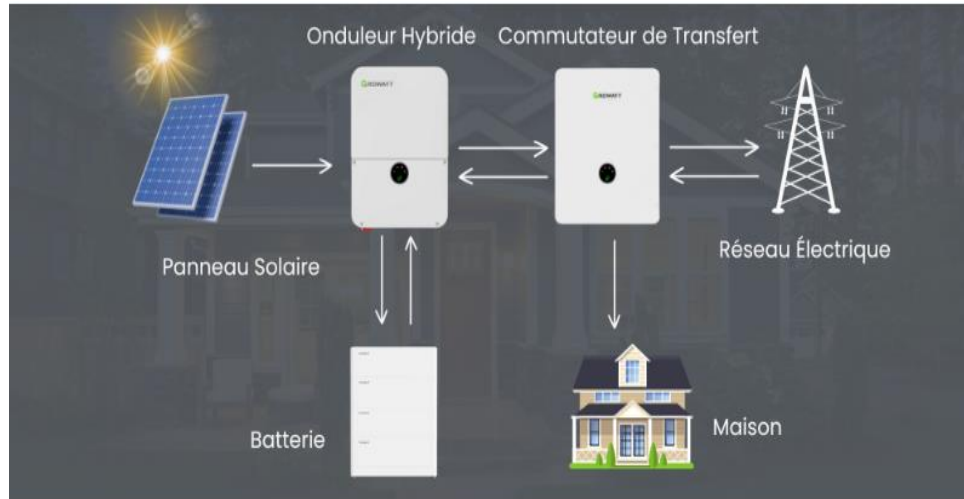


Figure (I.19) : système hybride

I.16 Dimensionnement des systèmes photovoltaïques

Le dimensionnement d'un système est la détermination de la fonction de sortie qui représente dans le cas des systèmes de production l'énergie produite (les besoins de la charge) en utilisant les modèles mathématiques pour déterminer les dimensions nécessaires pour obtenir la fonction d'entrée du système. Il commence notamment par la constatation des caractéristiques météorologiques du lieu où le système sera installé, suivre le comportement de la consommation de la charge pendant une période donnée et représenter graphiquement son évolution dans le temps et la détermination des dimensions des différents composants de la chaîne qui peuvent produire et réguler cette puissance[26].

I.16.1 Le but du dimensionnement

Le dimensionnement est une étape primordiale dans la conception des systèmes photovoltaïques. En effet, le dimensionnement optimal de tels systèmes s'obtient lorsque les différents composants tels que les panneaux, les batteries, l'onduleur, le régulateur et les câbles sont choisis de façon adéquate pour une ressource solaire donnée et un profil de consommation donné [27]. Le dimensionnement ayant une incidence sur le prix, la qualité et la pérennité d'un système photovoltaïque en site isolé, il constitue une étape cruciale lors de la mise en place du système. Ainsi, lorsque l'on cherche à optimiser le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, le but est de déterminer l'ensemble des paramètres de

dimensionnement du système afin de minimiser les différents coûts, tout en assurant l'alimentation du consommateur sans interruption [28].

- Le dimensionnement assurer une production sans interruption pour couvrir l'ensemble des consommateurs avec une bonne qualité énergie électrique.
- Le dimensionnement garantir le coût minimum de l'énergie consommée ainsi que le coût total de réalisation.

I.16.2 Les méthode de dimensionnement de système photovoltaïque

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système PV. Parmi ces dernières, on peut citer les suivantes [29]:

La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuation saisonnière de l'irradiation, ciel couvert (nuageux), etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (**10 ans minimum**).

La méthode de mois le plus défavorable

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude (le mois de décembre est choisi en Algérie). Généralement cette méthode utilisée pour les systèmes autonomes, l'installation militaire et les centres de soins des zones rurales.

La méthode de la moyenne annuelle

Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi, l'irradiation journalière en (KWh/m²/jour), pour une durée d'une année.

I.17 Conclusion

L'énergie solaire est considérée comme l'une des meilleures solutions pour fournir une énergie propre et renouvelable. Le système photovoltaïque repose sur la conversion de la lumière du soleil en énergie électrique à l'aide de panneaux solaires, et cette technologie est un choix idéal pour l'avenir, surtout dans le contexte mondial de la durabilité énergétique et de la réduction de la pollution environnementale. Il est important de connaître les types de systèmes et l'importance du dimensionnement photovoltaïque pour obtenir le système idéal qui maximise l'utilisation de l'énergie solaire à moindre coût.

II.1 Introduction

L'élevage de chameaux dans les régions arides et semi-arides rencontre des défis majeurs, notamment l'accès limité à l'électricité, essentielle pour diverses activités telles que le pompage de l'eau, l'éclairage, la réfrigération des médicaments vétérinaires et la surveillance des animaux. Dans ces zones désertiques et isolées, où l'accès au réseau électrique est souvent inexistant ou restreint, le recours à des solutions énergétiques durables devient crucial, en particulier pour les activités liées à l'élevage des chameaux.

Les systèmes photovoltaïques autonomes offrent une solution efficace et écologique pour les zones difficiles, convertissant l'énergie solaire en électricité pour alimenter des équipements essentiels (pompes à eau, GPS, réfrigérateurs). Ils favorisent le développement durable, réduisent la dépendance aux énergies fossiles et améliorent les conditions de vie en milieu rural. Ce chapitre examine leur fonctionnement, leurs composants, leurs avantages et leurs limites dans le secteur camelin.

II.2 Définition de système photovoltaïque autonome

Le système photovoltaïque autonome est un système de production d'électricité à partir de l'énergie solaire, qui fonctionne de manière totalement indépendante du réseau électrique public. Il utilise des panneaux solaires pour produire de l'électricité, qui est ensuite stockée dans des batteries pour être utilisée lorsque le soleil ne brille pas (la nuit ou par temps nuageux).

Le système photovoltaïque autonome est la solution idéale pour alimenter en électricité propre les zones reculées, rurales et non raccordée au réseau électrique national. Permettant ainsi leur d'approvisionner maisons ou leur fermes. Cela signifie que ces utilisateurs sont libérés du paiement de factures d'électricité mensuelles en constante augmentation, en raison de la hausse des prix mondiaux du pétrole.

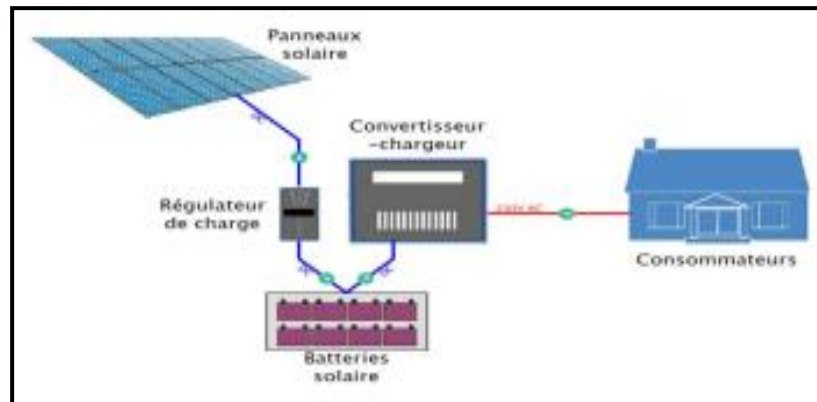


Figure (II.1) : Les composants du système photovoltaïque autonome,

II.3.Composants d'un système photovoltaïque autonome

Tous un système photovoltaïque autonome doit comporter les éléments nécessaires suivants quoi que ce soit la nature de charge (alternative ou contenu) :

- modules photovoltaïques.
- Onduleur.
- Batteries
- Régulateur de charge (Charge DC ou AC).
- Accessoires (câble, protection).

II.3.1 Panneau solaires

Le panneau solaire est un dispositif qui produit de l'électricité contenu à travers les rayonnements de lumière qu'il a absorbé. Sa structure est la même : une couche de cellules de silicium est placée entre une plaque de verre trempé et un film polymère . On peut définir aussi qu'un panneau photovoltaïque est composés d'un ensemble de cellules photovoltaïques et En présence de soleil, chacune de ces cellules produit un courant I (en ampère A) et une tension U (en volt V).le produit de ces deux grandeurs donne une puissance P , exprimée en Watt (W).

II.3.2. Batterie solaire

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge. Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Les systèmes photovoltaïques exigent habituellement des batteries qui peuvent être chargées pendant le jour et déchargées durant la nuit. Ces batteries doivent fonctionner ainsi pendant des années, sans marquer d'anomalie ou de dysfonctionnement pour pouvoir satisfaire la demande des jours où il n'y a que peu ou pas de soleil. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie** : nombre de jours pendant lesquels la batterie doit fournir la Puissance requise sans être recharger ni subir de dommage.
- **Courant de surcharge** : une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants ; c'est à dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV.
- **Stabilisation de la tension** : une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.
- **Etat de charge (SOC)** : Il représente la quantité d'énergie restante dans la batterie, exprimée en pourcentage de sa capacité totale. Par exemple, un SOC de 80 % signifie que la batterie est chargée à 80 % de sa capacité maximale.
- **État de santé (SOH)** : Il indique la capacité actuelle de la batterie par rapport à sa capacité initiale. Une batterie est considérée en fin de vie lorsque son SOH est inférieur à 80 %, ce qui signifie qu'elle conserve moins de 80 % de sa capacité d'origine.

II.3.2. Les types des batteries solaires

On distingue généralement trois types de batteries solaires :

- Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH)

Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant .

- Les batteries « gel »

Les batteries gel représentent une technologie avancée de batteries plomb-acide dans laquelle l'électrolyte liquide traditionnel est immobilisé sous forme de gel par ajout de silice.



Figure (II.2) : Batterie de type AGM



Figure (II.3) : Batterie de type GEL

- Les batteries au plomb ou liquide

Les batteries au plomb, également appelées batteries liquides ou batteries à électrolyte fluide, sont les plus anciennes et les plus répandues des technologies de batteries rechargeables. Elles utilisent des électrodes en plomb et un électrolyte liquide (acide sulfurique dilué).



Figure (II.4) : Batterie au plomb ou liquide

- **Les batteries au lithium ion**

Les batteries **Li-ion**, bien que légères et performantes (150 Wh/kg, 300 W/kg), sont coûteuses et utilisées dans des applications où le poids est critique (ex. téléphones portables). À l'inverse, les batteries **plomb-acide (Pb)** sont moins chères et largement employées dans les applications domestiques et industrielles, sauf lorsque leur poids pose problème. Les accumulateurs Li-ion, apparus il y a 10 ans, offrent une grande énergie massique grâce à la légèreté et au potentiel électrochimique élevé du lithium.

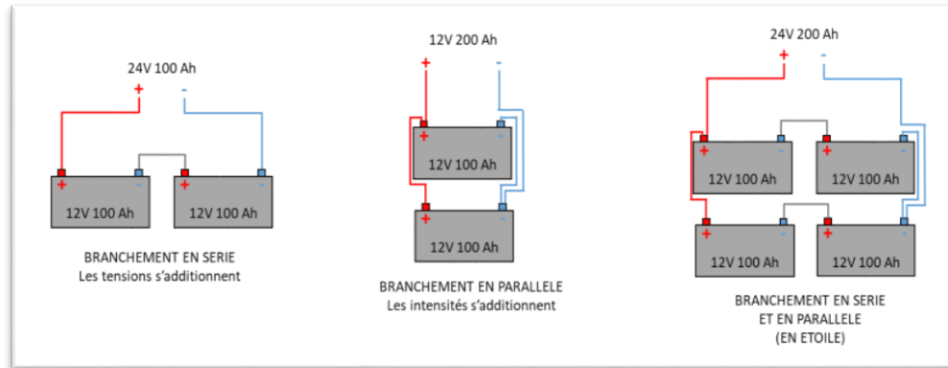
**Figure (II.5):** batterie au lithium-ion

II.3.2.2 Raccordement de batteries

Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle:

- En parallèle (en reliant les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-") pour additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).
- ✓ En série pour additionner la tension des batteries (en Volts). La capacité en "Ah" reste celle d'une seule batterie.

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries :



Figures(II.6): Types de raccordement des batteries solaires.

II.3.3 Onduleur solaire

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de fournir des tensions alternatif avec une fréquence fixe ou ajustable à partir d'une source d'énergie électrique de tension contenu. Avec même puissance presque, L'onduleur est un convertisseur statique de type (continu/alternatif). Un onduleur solaire se caractérise généralement par :

- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Plage de tension d'entrée.
- Protection contre Court-circuit, surcharge, température élevée, baisse tension de batterie.
- Température de fonctionnement.



Figure (II.7) : Onduleur solaire

On peut trouver trois types d'onduleurs utilisés dans les énergies renouvelables, onduleurs autonomes et les onduleurs connectés au réseau, Il existe aussi les onduleurs hybrides ou intelligents.

- **Onduleurs autonomes**

onduleurs autonomes (ou onduleurs *off-grid*) sont des convertisseurs de puissance électroniques qui transforment le courant continu (DC) stocké dans des batteries en courant alternatif (AC) utilisable par les appareils électriques. Ils sont essentiels dans les systèmes électriques isolés non raccordés au réseau.



Figure(II.8) : Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)

- **Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)**

Les onduleurs non autonomes, également appelés onduleurs connectés au réseau (*grid-tied inverters*), sont des dispositifs électroniques qui convertissent le courant continu (CC) en courant alternatif (CA) synchronisé avec le réseau électrique. Ils sont principalement utilisés dans les installations photovoltaïques ou éoliennes pour injecter l'énergie produite directement dans le réseau public.



Figure(II.9) : Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)

- **Onduleurs hybrides ou intelligent**

Il représente une nouvelle génération des onduleurs intelligents qui gèrent très bien plusieurs sources afin d'alimenter une telle charge alternative. Ce genre des onduleurs reçoit 3 sources (panneaux, Batteries et réseau) puis il gère ces trois derniers afin de délivrer une tension de 220V 50Hz avec un courant bien défini. Quel que soit les sur constances (nuit nuage ou autre) .



Figure (II.10) : Onduleur hybride ou intelligent

II.3.4 Régulateur Solaire

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale, car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage direct appelé régulateur PWM (Pulse With Modulation).

- Couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum PowerPoint Tracking).



Figure(II.11) : Régulateur de charge/décharge solaire

II.4 Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Le dimensionnement est un aspect fondamental de la conception du système. C'est l'ensemble des opérations nécessaires, une fois connue la consommation de l'installation, pour déterminer les dimensions optimales du générateur photovoltaïque, du système d'accumulation et capable de garantir cette consommation. Dans cette partie il Ya deux paramètres particulièrement importants : connaître le rayonnement incident sur le système et déterminer avec précision la consommation. Certes, il est facile de calcule approximativement qui permettent de déterminer les dimensions des panneaux pour pouvoir couvrir les besoins en consommation d'une localité concrète.

Les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome sont :

- Evaluation du besoin en électricité (E_{cf})
- Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque (P_{crt})
- Dimensionnement des panneaux
- Dimensionnement des batteries
- Dimensionnement de l'onduleur
- Dimensionnement de régulateur
- Dimensionnement de câble.

II.4.1 Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

C'est l'étude de la consommation d'énergie requise par des dispositifs, qui sont généralement connus pour chaque appareil en watts ou en calories par jour dans différents périodes (été, Hiver, Vacances). donc c'est la somme de l'énergie quotidienne moyenne nécessaire pour le processus de dimensionnement, par exemple, TV, lampe, réfrigérateur, et d'autres appareils. Comme indiqué dans le tableau II.1 :

Désignation	Nombre	Puissance (Kw)	Consommation journalière	Énergie journalière (kWh/j)
Pompe à eau (pour chameaux)	1	1000	4	4000
Éclairage LED (étable)	10	10	6	600
Réfrigérateur (pour le lait)	1	200	24	4800
Appareils de communication	2	20	8	320
Ventilateurs (pour le refroidissement)	4	50	10	2000
Caméras de vidéosurveillance	4	10	24	960
Divers (outils, etc.)	1	500	2	1000
Energie totale quotidienne		2080		13680

Tableau II.1 : Charges électriques dans une ferme de chameaux

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit :

$$E_{cj} = P_1 \times t_1 + P_1 \times t_1 + P_1 \times t_1 +$$

$$E_{cj} = P_j \times t_j \times N_j \quad (\text{II.1})$$

E_{cj} : L'énergie journalière consommée d'un équipement par jour (kWh/j)

P_j : Puissance journalière d'un équipement quelconque (W)

t_j : Temps de fonctionnement de cette appareil dans une journée

N_j : Nombre de l'équipement

$$E_{cj} = \sum_1^n E_{cj} \quad (\text{II.2})$$

Énergie quotidienne totale= 4000+600+4800+320+2000+960+1000=13680Wh/j.

Les systèmes hors réseau présentent des inefficacités dues aux pertes de câblage, d'onduleurs et de batteries. En supposant un rendement de 75 % :

- Énergie quotidienne ajustée : $E_{cj} = \frac{13680}{k(0.75)} = 18.24kwh/j$.

Avec :

K : est le facteur de correction du système (de 0.55 à 0.75).

Le coefficient k tient compte des facteurs suivant :

- l'incertitude météorologique
- l'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison
- le vieillissement et la poussière des modules
- le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (80 à 90%)
- le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%)
- les pertes dans les câbles et connexions.

En générale sa valeur théorique est comprise entre (0.55 et 0.75) .Mais en pratique la valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est **k=0.75**

II.4.1.1 Orientation et inclinaison des panneaux

Pour installer un panneau solaire on doit se préoccuper à la fois de l'orientation et de l'inclinaison (voir figure II.13). L'orientation indique tout simplement vers quel point cardinal un panneau est exposé : il peut faire face au Sud, au Nord, à l'Est, à l'Ouest... tout comme la façade d'une maison. L'inclinaison, quant à elle, est l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal. Etant donné que la position du soleil dans le ciel varie constamment, il faudrait idéalement que le panneau suive le soleil. Il existe de tels dispositifs «suiveurs», mais ils consomment une part de l'énergie et sont souvent assez onéreux (pour supporter tous les climats) et demandent de l'entretien. Ils sont surtout justifiés pour de gros systèmes avec concentration et pour des rayonnements directs uniquement. En pratique, l'inclinaison optimale pour une utilisation annuelle, est déterminée par la règle suivante [2]:

Cet emplacement idéal se justifie, encore une fois, surtout pour les rayonnements directs et les panneaux qui convertissent le mieux ce rayonnement, en l'occurrence les panneaux au silicium cristallin. les panneaux au silicium amorphe, quant à eux, convertissent très bien le rayonnement diffus, et pourront être placés par exemple à l'horizontale sans perdre trop d'énergie solaire dans les climats où il y a beaucoup de rayonnement diffus .

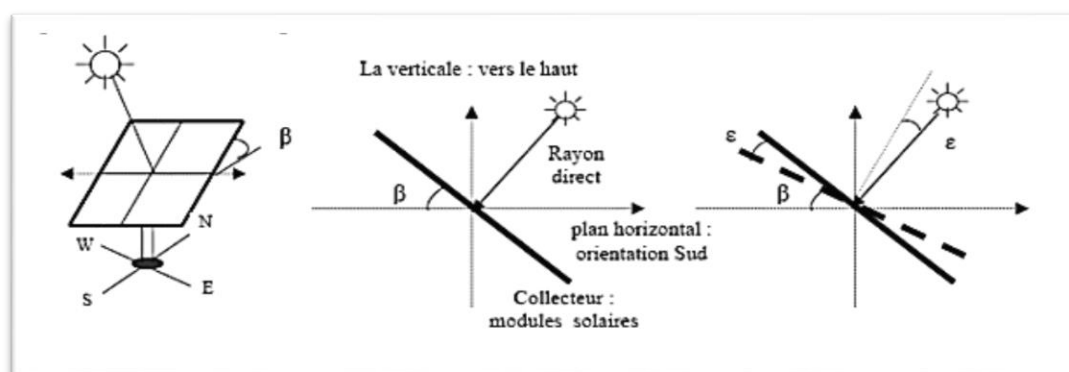


Figure (II.13) : Inclinaison et orientation d'un panneau solaire [2].

II.4.1.2 Les coordonnées météorologique du site «Timimoun »

Pour le dimensionnement de notre projet de système photovoltaïque autonome, nous avons choisi le site de Timimoun. Les données géographiques et météorologiques sont déjà importées par le logiciel PVSYST.

Désignation	Valeur
Latitude	30.25°Nord
Longitude	2.45°Est
Altitude	288m
Réflectivité du sol ou (Albédo)	0.3 à 0.4
Irradiation de moyenne annuelle du site choisi	5.77 KWh/m²/jour.

Tableau (II.2) : les coordonnées météorologique du site de «Timimoun »

II.4.1.3 L'angle d'inclinaison du panneau

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale. selon le tableau suivant illustre inclinaison de panneau photovoltaïque :

Latitude (L)	Inclinaison (α) en degré
$L < 10^\circ$	10°
$10^\circ < L < 30^\circ$	L
$30^\circ < L < 40^\circ$	$L + 10^\circ$
$L > 40^\circ$	$L + 15^\circ$

Tableau (II.3) Inclinaison du panneau photovoltaïque

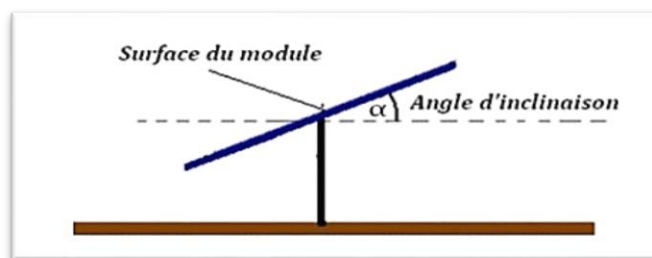


Figure (II.14) : Angle d'inclinaison des panneaux photovoltaïques

En pratique, l'inclinaison optimale pour une utilisation annuelle, est déterminée par la règle suivante :

Inclinaison optimale pour une utilisation annuelle (α) = Latitude du lieu + 10°

$$\alpha = L + 10^\circ$$

Donc :

$$\alpha = 27.25^\circ + 10^\circ = 37.25^\circ$$

$$\alpha = 37.25^\circ$$

Dans le site à l'étude (Timimoun) la position des modules sera comme suit :

- Orientation des panneau : **plein sud**
- L'inclinaison $\alpha = 37.25^\circ$

II.4.1.2 Puissance crête du champ photovoltaïque (Wc)

La puissance crête totale du champ photovoltaïque, dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, elle est donnée par :

$$P_{PV} = \frac{E_{Cj}}{I_{rr}} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

I_{rr} : Irradiation de mois le plus défavorable (Wh/m².j).

P_{PV} : Puissance crête du champ photovoltaïque (W)

E_{Cj} : énergie consommée(Wh/j)

Le watt crête (Wc) est différent du watt qu'on connaît déjà, c'est un watt produit par les panneaux photovoltaïques dans les conditions standard (STC).

Alors si on fait l'application numérique de cette formule dont :

$$P_{crt} = \frac{18240}{5.77} = 3247.7 \text{ Wc}$$

$$P_{crt} = 3247.7 \text{ Wc}$$

II.4.1.2.1 Détermination de la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteur), il dépend aussi des niveaux de puissance et de l'énergie nécessaire

selon le type d'application. Il faut déterminer la tension de fonctionnement de système : 12v, 24v, 48v, 96 v, la règle du jeu pour cela est assez simple : plus on utilise une tension élevée [3]

Puissance totale	0 - 500W	500W- 2000W	2000W- 10000W	>10kW
Tension de système 'V _{sys} '	12V	24V	48V	96 V

Tableau(II.4) : Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïque.

D'après le tableau, la puissance crête est : **3247.7Wc** nécessite une tension du système : **V_{sys}=48V**

II.4.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïque

Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins et sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue.

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins en électricité. Le module choisi pour notre étude est un module de type **TSM-200 D05** d'une puissance optimale de **P_c=250 Wc**. le tableau suivant résume cela la fiche technique de panneau :

Puissance maximale (P _{max})	250 W
Tension à vide (V _{oc})	37.8 V
Courant de court-circuit en ampère (I _{sc})	8.7A
Tension au point de la puissance max (V _{mpp})	31.5V
Courant au point de la puissance max (I _{mpp})	7.94A

Tableau(II.5): Fiche technique de panneau de type TSM-200 D05

- Nombre de panneaux PV totale :

$$N_{P_T} = \left\lceil \frac{P_{crt}}{P_{pv}} \right\rceil \quad (\text{II.4})$$

$$N_{P_T} = \frac{3247.7}{250} = 12.99 \approx 14 \text{ panneaux}$$

- Nombre de panneaux PV en série :

$$N_{P_S} = \left\lceil \frac{V_{sys}}{V_{mpp}} \right\rceil \quad (\text{II.5})$$

$$N_{P_S} = \frac{96}{29} = 3.31 \approx 4 \text{ Panneaux série}$$

- Nombre de panneaux PV en parallèle :

$$N_{P_P} = \frac{N_{P_T}}{N_{P_S}} \quad (\text{II.6})$$

$$N_{P_P} = \frac{14}{4} = 3.5 \approx 4 \text{ panneaux parallèle}$$

II.4.4 Dimensionnement des batteries

A partir de la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque et la tension nominale de la batterie on peut déterminer le nombre de batteries connectés en séries et en parallèles : la batterie choisi pour notre étude et une batterie de type de **Lithium –ion NMC** d'une capacité optimale de 200Ah.

Capacity nominal	200 Ah
Tension	12V
DOD	0.8

Tableau (II.4) : Fiche technique de la batterie choisie (**Lithium –ion NMC**)

- Calculer la capacité des batteries

Pour stocker l'énergie nécessaire à son utilisation en période de faible ensoleillement, calculez la capacité de la batterie. Prenons l'exemple d'un système de 48 V et d'une profondeur de décharge (DOD) de 80 % pour les batteries lithium-ion :

$$C_{batt} = \frac{E_j \times AUT}{DOD \times V_{sys}} \quad (II.7)$$

$$C_{batt} = \frac{18240 \times 1}{0.80 \times 96} = 237.5 \approx 238 \text{ Ah}$$

Avec :

C_{batt} : La capacité nominale des batteries (Ah)

AUT : Le nombre de jour d'autonomie de la région

V_{batt} : La tension nominale des batteries (v)

DOD : La profondeur de décharge des batteries (%) (0.8 pour les batteries au plomb)

➤ Calcul le nombre de batterie

- Nombre des batteries en série :

$$N_{Bs} = \frac{V_{sys}}{V_{batt}} \quad (II.8)$$

$$N_{Bs} = \frac{96}{12} = 8 \text{ batterie série}$$

- Nombre de batterie en parallèle :

$$N_{Bp} = \frac{C_{BT}}{C_{Bu}} \quad (II.9)$$

$$N_{Bp} = \frac{238}{200} = 1.19 \approx 2 \text{ batterie parallèle}$$

- Nombre des batteries totales

$$N_{Bt} = N_{Bs} \times N_{Bp} \quad (II.10)$$

$$N_{Bt} = 8 \times 2 = 16 \text{ Batteries}$$

Avec :

C_{Bt} : Capacité totale des batteries en (Ah)

C_{BU} : Capacité de batterie choisie en (Ah)

V_{sys} : Tension de système en (V)

N_{Bt} : Nombre des batteries totales

N_{Bs} : Nombre des batteries série

N_{Bp} : Nombre des batteries parallèle

II.4.5 Dimensionnement de l'onduleur

Un onduleur pour un site autonome a pour rôle de convertir la tension continue délivrée par le parc de batteries en une tension alternative pour couvrir les besoins de la charge électrique ; L'onduleur permet de convertir le courant D.C (courant continu) en A.C (courant alternatif),

pour le choix de l'onduleur (des sites isolés) on tient compte de deux paramètres :

Pour tenir compte des surtensions ou des charges supplémentaires imprévues, ajoutez une marge de sécurité de 20 à 25 % à la charge de pointe :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{onduleur}} &> P_{\text{total}} \\
 P_{\text{ond}} &= P_{\text{total}} + 0.2 \times P_{\text{total}} \\
 P_{\text{ond}} &= 2080 + 0.2 \times 2080
 \end{aligned}
 \tag{II.11}$$

$$P_{\text{ond}} = 2600 \text{ W}$$

P_{ond} : la puissance de l'onduleur en (W)

P_{total} : la puissance totale de l'onduleur en (W)

Donc on à choisir un onduleur avec une puissance nominale continue d'au moins 2600 W et une tension système de 48V.

Il faut que la tension DC de la sortie des panneaux (U_s) appartienne à la plage de la tension d'entrée de l'onduleur, ou des fois il y a des onduleurs qui ont une tension.

II.4.5.1 Principales caractéristiques de l'onduleur

- Puissance nominale : 2 600 W (en continu) Tension du système : 48 V
- Capacité de surtension : Assurez-vous que l'onduleur peut supporter des surtensions de courte durée (par exemple, au démarrage d'un moteur).
- Une surtension nominale de 1,5 à 2 fois la puissance nominale en continu est recommandée. Pour ce système, une surtension nominale d'au moins 4 000 à 5 000 W est idéale.
- Forme d'onde : Les onduleurs à onde sinusoïdale pure sont recommandés pour les appareils électroniques sensibles (par exemple, les réfrigérateurs, les appareils de communication).

II.4.6 Dimensionnement du régulateur

Le régulateur solaire permet de contrôler la charge et la décharge de la batterie. le régulateur solaire a le rôle de réguler l'énergie accumulée dans la batterie, en évitant toute surcharge ou décharge trop importante, pendant la décharge profonde le régulateur diminue l'intensité de la décharge, ou il y a des régulateurs qu'il arrête complètement la décharge pour protéger la batterie.

Il y a deux critères de choix, il faut que le courant du régulateur ***I_{rég}*** soit supérieur à I_s :

(***I_{rég}*** > I_s) et il fonctionne avec 96V

- Toujours la tension de sortie du régulateur égale la tension d'entrée des batteries et le courant de sortie du régulateur est égal le courant d'entrée (***I_e***= I_s).
- La plupart des régulateurs qui se trouvent dans le marché sont des régulateurs de charge c'est-à-dire ils contrôlent juste la charge de la batterie et pour la décharge il y a juste une protection contre la décharge profonde, et des fois dans d'autres régulateurs il n'y a pas de protection contre la décharge profonde.

$$I_s = I_{mpp} \times N_{pp} \quad (II.12)$$

$$I_s = 7.94 \times 4 = 31.76 \text{ A}$$

Alors on choisit un régulateur de marque (25 A/48V) .donc le régulateur choisi fonctionne avec une tension de 12V à 24V et le courant du régulateur ***I_{régulateur}***=25A.

II.4.7 Dimensionnement des câbles

➤ Déterminer la section des câbles entre le panneau et le régulateur

Les données :

$$\Delta U = 3\% = 0.03 \text{ V} ; \rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$I_{mpp} = 7.94 \text{ A} ; V_{mpp} = 29 \text{ V}$$

$$\text{On a : } \begin{cases} \Delta U = R \times I \\ R = \rho \times \frac{L}{S} \end{cases} \quad (II.13)$$

On calcul ΔU :

$$\Delta U = \frac{V_{mpp} \times N_{PT} \times 3}{100} \quad (\text{II.14})$$

$$\Delta U = \frac{29 \times 16 \times 3}{100} = 13.92 \text{ V}$$

Les deux relations donnent $R = \frac{\Delta U}{I} = \rho \times \frac{L}{S}$

$$\text{Donc : } S = \frac{\rho \times I \times L}{\Delta U} \quad (\text{II.15})$$

$$S = \frac{(1.7 \times 10^{-8}) \times 31.76 \times (10 \times 2)}{13.92}$$

$$S = 7.75 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Lorsque on choisit des câbles avec une section de 10 m² (le marché exige ce choix)

➤ **Déterminer la section des câbles entre le régulateur et les batteries**

$$\text{On calculer : } \Delta U = \frac{V_{sys} \times 3}{100} \quad (\text{II.16})$$

$$\Delta U = \frac{96 \times 3}{100} = 2.88 \text{ V}$$

$$S = \frac{\rho \times I \times L}{\Delta U}$$

$$S = \frac{(1.7 \times 10^{-8}) \times 31.76 \times (5 \times 2)}{2.88}$$

$$S = 1.87 \times 10^{-6} \text{ mm}^2 \approx 1.87 \text{ m}^2$$

➤ **Déterminer la section des câbles entre les batteries et l'onduleur**

- Déterminer le courant entre les batteries et l'onduleur : (le courant d'entrée de L'onduleur)

On a le rendement de notre onduleur est : $\eta = 93\%$

P_s : la puissance de la sortie de l'onduleur (A.C)

P_e : la puissance d'entrée de l'onduleur et c'est une puissance continu (D.C)

Donc on à : $P_s = 2600 \text{ W}$

$$\begin{cases} P_e = U_e \times I_e \\ \eta = \frac{P_s}{P_e} \\ I_e = \frac{P_s}{\eta \times U_e} \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

$$I_e = \frac{2600}{0.93 \times 96} = 29.12 \text{ A}$$

$$\Delta U = \frac{96 \times 3}{100} = 2.88 \text{ V}$$

$$S = \frac{\rho \times I \times L}{\Delta U}$$

$$S = \frac{(1.7 \times 10^{-8}) \times 31.76 \times (4 \times 2)}{2.88}$$

$$S = 1.499 \times 10^{-6} \text{ mm}^2 \approx 1.49 \text{ m}^2$$

II.5 L'objectif de la surveillance des systèmes photovoltaïques

L'objectif de la maintenance et de la surveillance des systèmes photovoltaïques est d'assurer leur performance optimale, leur sécurité et leur durabilité dans le temps. Voici les objectifs principaux :

II.5.1 Objectifs de la maintenance

- **Prévenir les pannes** : en identifiant les signes de défaillance avant qu'elles n'entraînent des arrêts de production.
- **Maximiser la production** : garantir que les panneaux fonctionnent toujours à leur rendement optimal.
- **Allonger la durée de vie du système** : en remplaçant les composants usés (onduleurs, câbles, etc.).
- **Assurer la sécurité** : en évitant les risques électriques ou d'incendie.
- **Réduire les coûts** : en évitant des réparations coûteuses par une maintenance préventive.

II.5.2 Objectifs de la surveillance

- **Suivre la production en temps réel** : pour détecter immédiatement les baisses anormales de rendement.
- **Détecter les anomalies** : comme les ombrages, salissures, pannes de modules ou erreurs d'onduleur.
- **Analyser les performances** : comparer la production réelle aux prévisions.
- **Optimiser l'exploitation** : ajuster les stratégies de maintenance en fonction des données

II.5.3 Technologies de surveillance des panneaux solaires

La technologie de surveillance des panneaux solaires a considérablement évolué au fil des ans pour répondre aux besoins croissants de l'industrie solaire en matière de performance, de fiabilité et de maintenance. Voici quelque capteur pour la surveillance des panneaux photovoltaïques :

- **Capteur thermique** : mesure la température des panneaux pour détecter les surchauffes et les variations thermiques.



Figure (II.14) : Capteur thermique

- **Capteur de luminosité** : mesure l'intensité lumineuse pour évaluer l'irradiance solaire et l'efficacité de la conversion photovoltaïque telle que le Solarimètre .



Figure (II.15) : Solari mètre

- **Capteur de courant et de tension :** surveille les paramètres électriques pour détecter les variations de performance et les pannes potentielles. On parle ici pour l'ampèremètre.



Figure(II.16) : Représentation d'une mesure à l'aide d'un multimètre.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé le dimensionnement une ferme du chameaux dans la wilaya de Timimoune (site choisie), en appliquant les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome .De ce fait, nous avons obtenu les résultats nécessaires pour choisir les composants adaptés à notre dimensionnement. L'étude menée autour du dimensionnement et de l'exploitation d'un système photovoltaïque autonome pour une ferme de chameaux met en évidence l'importance croissante des énergies renouvelables dans les zones isolées. Grâce à une conception adaptée aux besoins énergétiques spécifiques

de la ferme et aux conditions climatiques locales, il est possible de garantir une alimentation électrique fiable, durable et respectueuse de l'environnement. Le recours à un système photovoltaïque Off-Grid permet non seulement de pallier l'absence d'accès au réseau électrique, mais aussi de réduire les coûts d'exploitation à long terme et de promouvoir l'autosuffisance énergétique. En intégrant des méthodes de maintenance et de surveillance efficaces, on assure un fonctionnement optimal et une longévité accrue du système. En somme, ce type de solution énergétique représente une alternative stratégique, durable et économiquement viable pour répondre aux défis énergétiques des zones rurales, tout en contribuant à la transition vers une énergie plus verte et décentralisée.

III.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque autonome représente une solution prometteuse pour l'électrification des sites isolés, combinant indépendance énergétique et respect de l'environnement. Cette analyse explore les dimensions techniques, économiques et environnementales des systèmes PV autonomes, en s'appuyant sur des études de cas et méthodologies récentes. Les systèmes photovoltaïques autonomes émergent comme une solution durable pour l'électrification des zones isolées. Cette étude combine simulation technique sous PV SYST et analyse multicritère pour évaluer leur performance globale.

III.2 Présentation de logiciel de simulation PVSYST

PVSYST est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.



Figure (III.1) : Désignation du projet dans PVSYST.

Sur la page principale, vous avez un aperçu des différentes principales sections du logiciel, tels que la Conception et Simulation de projet, les Utilitaires, la Documentation, ainsi que vos projets récents et votre espace de travail.

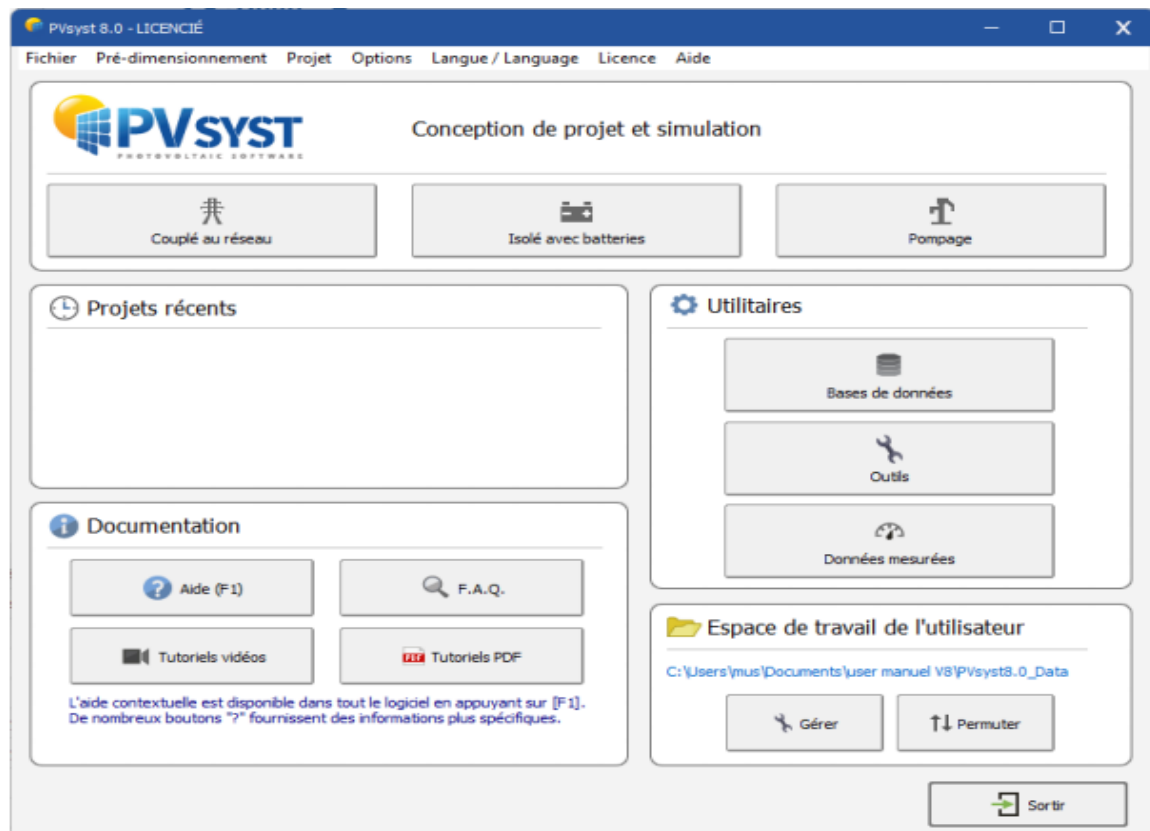


Figure (III.2): la page principale de PVSYST

III.3 Désignation du projet

La simulation de système étudiée était réalisée par le logiciel PVSYST, qui est un logiciel donne la meilleure configuration en lui spécifiant la puissance nominale installée, le type d'onduleur et de pratiquement tous les fabricants de module panneaux PV utilisés. Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV autonome pour alimenter le site wilaya Timimoune, les données météorologiques fournies par PVSYST pour ce site sont des données synthétisées par un modèle mathématique avec comme données de base les valeurs moyennes mensuelles de la radiation, donc pour mener cette simulation, nous avons puisé les données de la base de PVSYST. en vue de déterminer le comportement de ce système à base de données géographiques ainsi les paramètres techniques de différents composants pour le dimensionnement de système PV autonome.

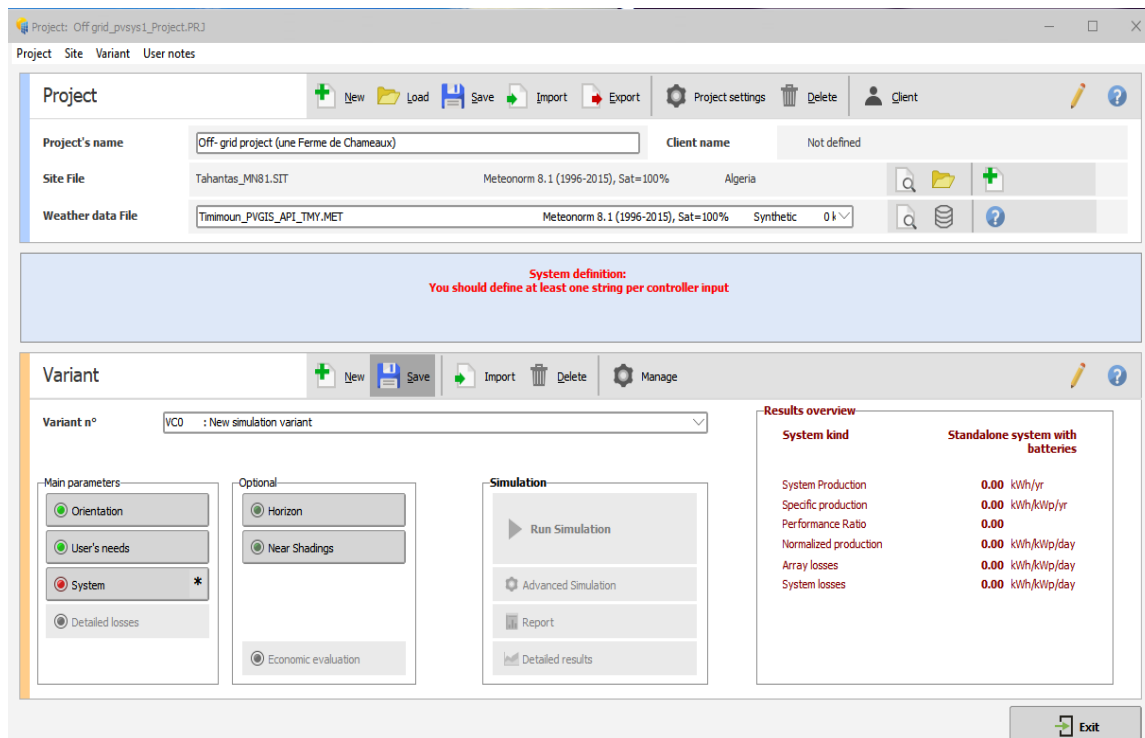


Figure (III.3): Désignation du projet dans PVSYS

III.4 Situation géographique de site de Timimoune

La wilaya de Timimoune est une wilaya algérienne créée en 2019 et officialisée en 2021. Elle est située dans la Sahara central algérien. Sa superficie est de 65 203 km², elle se situe entre les parallèles 29°26' de latitude Nord et 0°22' de longitude Est.

Elle est délimitée :

- Au nord par la wilaya d'El Bayadh .
- À l'est par la wilaya d'El Meniaa et celle d'In Salah.
- À l'ouest par la wilaya de Béni Abbes ; et au sud par la wilaya d'Adrar.

Le site (Timimoune) étudié ou à alimenter est caractérisé par coordonnées géographiques suivants :

- Latitude : 29° 26' Nord
- Longitude : 0°22' °Est
- Altitude : 288m
- Time zone : 1

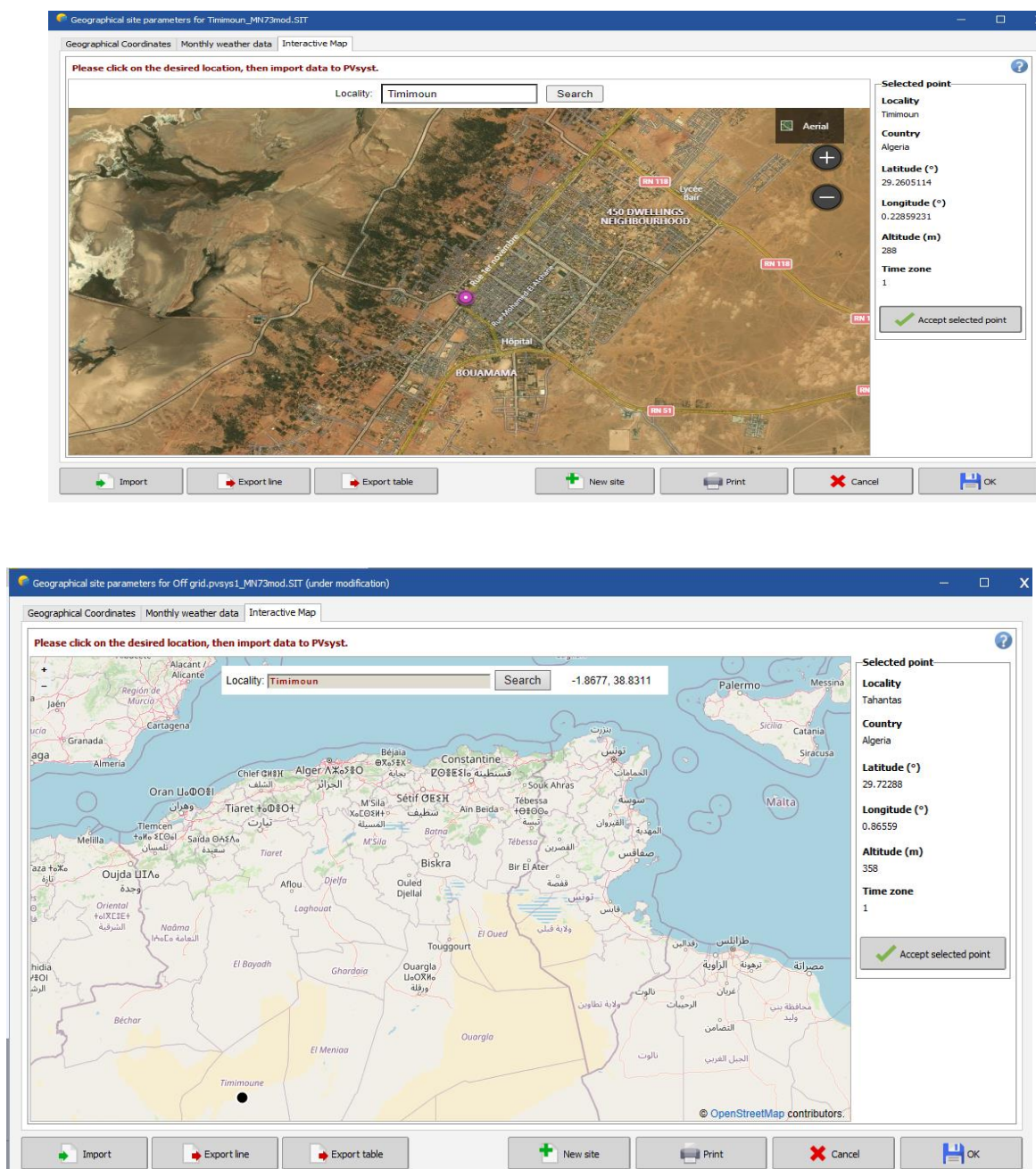


Figure (III.4) : localisation géographique de site Timimoune choisie.

Geographical site parameters for Timimoun_MN73mod.SIT

Location

Site name: Get from coordinates

Country: Region: Show map

Geographical Coordinates

Sun paths

Latitude: Decimal Deg. Min. Sec. (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: M above sea level

Time zone: Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 56m

Get from name

Weather data Import

☐ Meteornorm 6.2

☐ NASA-GSE

☒ PVGIS TMY Version:

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

☐ SolarAnywhere® TGY

☐ Solargis TMY

Import

Import Export line Export table New site Print Cancel OK

Figure (III.4): Coordonnées géographiques du site de Timimoune.

III.5 Données météorologiques du site

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent, humidité ...etc.:

Geographical site parameters for Timimoun_MN73mod.SIT

Site: **Timimoun (Algeria)**

Data source:

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity []	Relative humidity %
January	133.9	18.4	9.7	3.80	3.407	51.9
February	142.0	28.3	13.2	4.40	3.988	39.6
March	196.0	44.4	19.0	4.59	5.668	29.0
April	220.9	59.5	22.8	5.10	6.810	25.8
May	243.4	78.9	28.5	5.59	7.788	22.6
June	238.0	98.6	33.1	4.80	8.395	20.0
July	241.3	98.6	37.0	4.49	9.002	20.2
August	223.0	100.8	35.8	4.30	8.356	20.0
September	192.1	57.1	30.6	4.49	8.114	25.9
October	163.1	50.2	25.4	3.89	6.305	32.8
November	132.5	25.2	16.2	3.49	4.272	44.9
December	121.2	19.2	11.4	3.29	3.537	53.2
Year	2247.4	679.2	23.5	4.4	6.287	32.2

Global horizontal irradiation year-to-year variability 3.1%

Required Data

☐ Global horizontal irradiation

☐ Average Ext. Temperature

Extra data

☒ Horizontal diffuse irradiation

☒ Wind velocity

☒ Linke turbidity

☒ Relative humidity

Irradiation units

☐ kWh/m²/day

☒ kWh/m²/mth

☐ MJ/m²/day

☐ MJ/m²/mth

☐ W/m²

☐ Clearness Index KI

Import Export line Export table New site Print Cancel OK

Figure (III.5) : Paramètre climatiques du site de Timimoune

La figure(II.5) ci-dessous nous donne les moyennes mensuelles des irradiances global et diffuses ainsi que celles des températures.

III.6 Orientation et inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques (par rapport au rayonnement solaire influence directement sur leur production énergétique .il est important de bien placer les panneaux pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. L'orientation est le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest ...).

Quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal et se compte en degrés. L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

- Le sud dans l'hémisphère nord
- Le nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année le mois ensoleillé pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible [3].

Dans le site à l'étude (Timimoune) la position des modules sera comme suit :

- Orientation des panneaux : plein inclinée
- L'inclinaison (49.9°).

III.7 Trajectoire de soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire.

La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est) .La figure(III.6) représente la hauteur du soleil dans le ciel en fonction de l'azimut à Timimoune au cours d'une année.

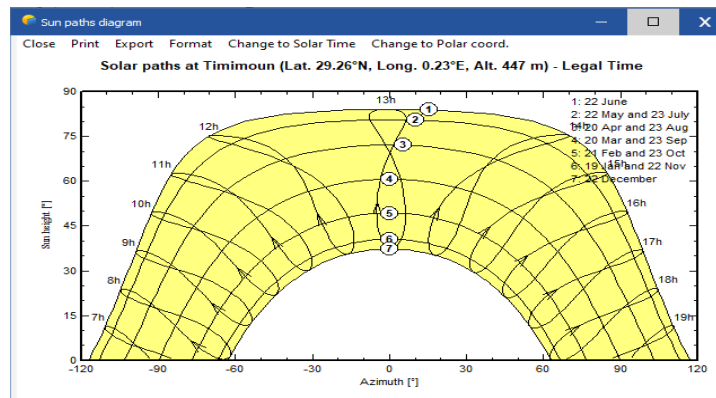


Figure (III.6) : trajectoire du soleil à site Timimoune

Selon les coordonnées géographiques de Ferme de Chameaux Timimoune, le support des panneaux photovoltaïques doit être orienté vers le sud, et avec une

inclinaison de 37.25° . Le support doit être fabriqué en cornière métallique, peinturé contre la corrosion.

Nous avons choisi un plan incliné fixe par rapport à l'horizontale comme illustre la figure c'est l'inclinaison optimale donnée par logiciel PVSYST.

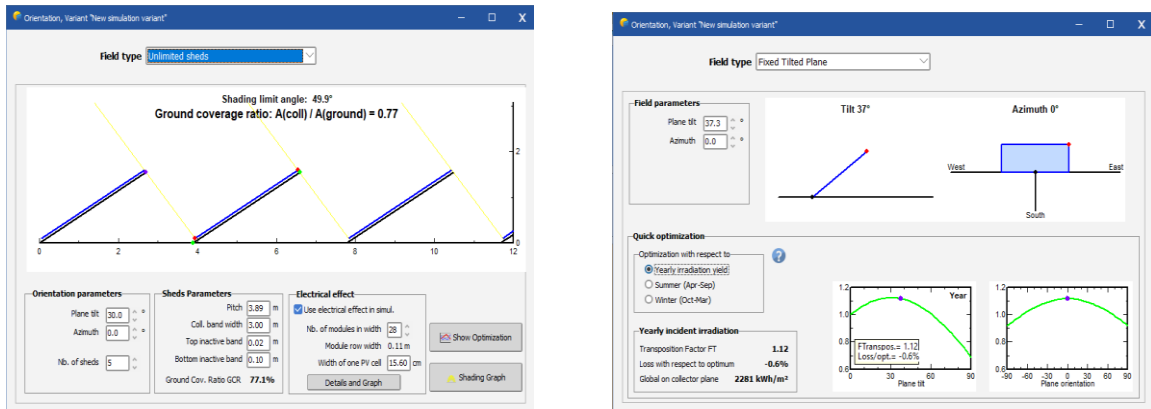


Figure (III.7) : Orientation et d'inclinaison du panneau solaires (plan incliné fixe)

III.8 Schéma de l'installation PV

La figure (III.7) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation.

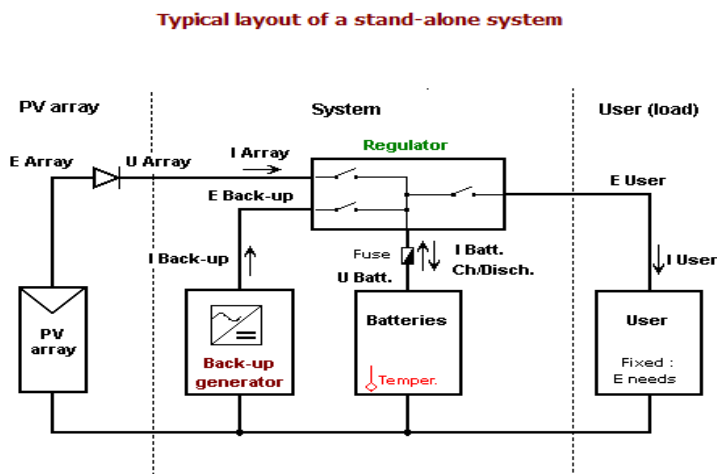


Figure (III.8): Schéma simplifié d'une installation PV autonome

III.9 Détermination des besoins électriques

En mode « autonome », PVSYST dispose d'une fenêtre où nous choisirons la consommation estimée. La consommation électrique et le temps d'utilisation. PVSYST donne l'estimation de la consommation journalière et mensuelle moyenne. Dans le cadre de notre étude et selon la figure (III.4), les résultats obtenus sont comme suit :

- La consommation électrique journalière : 13520Wh/jours
- La consommation électrique mensuelle : 405.6. KWh/mois

Definition of daily household consumptions for the year.

Consumption Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy
1	Pompe à eau (pour chameaux)	1000 W/lamp	4.0 h/day	OK	4000 Wh
10	Éclairage LED (étable)	10 W/app	6.0 h/day	OK	600 Wh
1	Appareils de communication	20 W/app	8.0 h/day	OK	160 Wh
2	Réfrigérateur (pour le lait)	2.40 kWh/day	24.0	OK	4800 Wh
4	Ventilateurs (pour le refroidissemen	50.0 W aver.	10.0 h/day	OK	2000 Wh
4	Caméras de vidéosurveillance	10 W/app	24.0 h/day	OK	960 Wh
1	Divers (outils, etc.)	500 W/app	2.0 h/day	OK	1000 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
Total daily energy					13520 Wh/day
Monthly energy					405.6 kWh/mth

Appliances info

Consumption definition by

☒ Years ☐ Seasons ☐ Months

Week-end or Weekly use

☐ Use only during ☐ 7 days in a week

Figure (III.8) : Détermination la consommation journalière de l'utilisateur.

III.10 Distribution horaire de la charge

Après avoir introduit les différents outils utilisés ainsi que leurs nombres, leurs puissances et le temps d'utilisation pendant une journée, on clique sur « Hourly distribution » pour répartir les heures d'utilisation dans la journée pour chaque outil, et cela pour pouvoir estimer à quelle heure dans la journée on va avoir un appel de puissance le plus important, Nous avons défini les usages domestiques journaliers pour l'année.

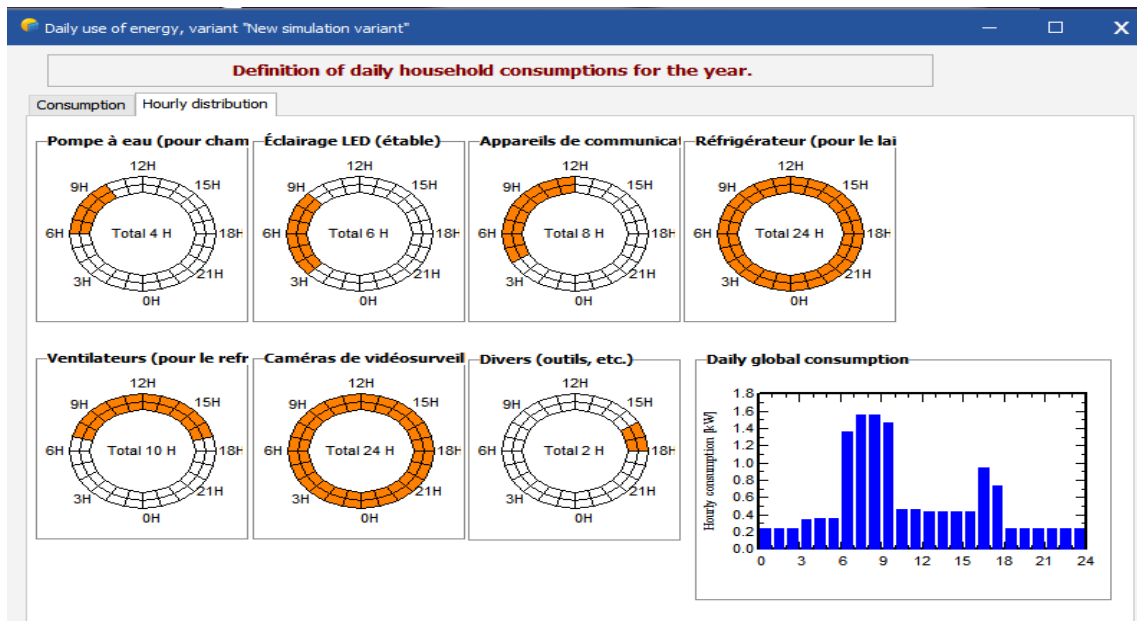


Figure (III.9) : Distribution horaire de la charge

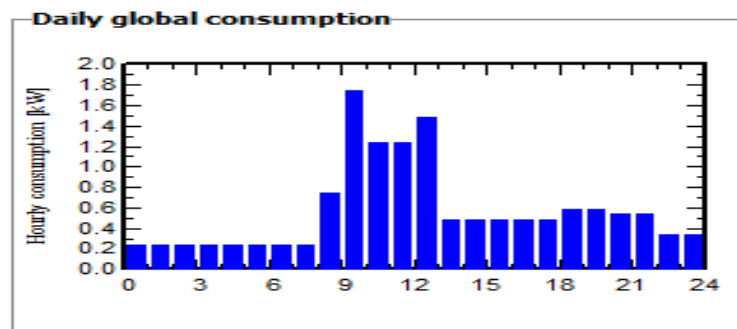


Figure (III.10) : Appels de puissance au cours d'une journée.

A partir du graphe donné dans la figure (III.10) on remarque que l'appel de puissance le plus important dans la journée c'est à 9h du matin, et cela revient à l'utilisation de la machine à laver d'une puissance assez importante (1800 W) à cette heure-ci

III.11 Simulation des équipements énergétique

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

➤ Dimensionnement des batteries

On a choisi des batteries acides au plomb gel pour le stockage d'énergie ; Ainsi, selon la figure (III.11), pour une tension DC de 48 V et une durée d'autonomie de trois jours le nombre de batteries nécessaires pour un tel système photovoltaïque est de douze batteries (8

en série de 2 parallèles). La capacité totale du parc de batteries est de 478Ah, pour assurer une énergie électrique suffisante pendant les journées peu ou non ensoleillées.

The screenshot shows a software interface for battery sizing. On the left, a tree view lists components: 'Champ PV - Orientation #1' containing '1Komma5_FullBlack_01_420.PAN' and 'Universal_Controller_1A_MPPT.RLT'. The main panel is titled '13.5 kWh/jour' and 'Autonomie requise 1.0 jour(s)'. It shows 'Capacité conseillée 166 Ah' and 'Puissance PV conseillée 3.28 kWc'. The 'Procédure' section lists steps: 1. Pré-dimensionnement, 2. Stockage, 3. Conception champ PV, 4. Appoint. The 'Définissez le pack de batteries' section shows 'Tension' selected, with '12 V' and '239 Ah' chosen. It indicates 'batteries en série' and 'batteries en parallèle' counts. A summary table on the right shows: Tension du pack batteries 96 V, Capacité globale (C10) 478 Ah, Energie stockée (80 % DOD) 36.7 kWh, Poids total 1200 kg, Nbre de cycles à 80 % DOD 800, Energie totale stockée durant la vie de la batterie 30894 kWh. The 'Température batterie en opération' section shows 'Fixée (local tempéré)' and 'Température fixée 20 °C'.

Figure (III.11) : Dimensionnement de Batterie

A partir de cette figure on voit que : on a choisir les batteries de type avec une capacité de **478Ah** et tension de **48V**.

➤ Dimensionnement du champ PV et régulateur

Plusieurs technologies existantes pour les modules PV ; pour cela le dimensionnement du module est basé selon plusieurs critères comme les besoins électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui réduit au maximum le nombre de batteries sans avoir un manque d'énergie. Ainsi, comme c'est indiqué sur la figure III.8 le type de module choisi dans le cas de cette présente étude est de type : **ASUN260-M**

Dans le dimensionnement de notre système PV autonome, voici le module PV et le régulateur que nous avons choisi :

Comme illustré sur la figure (III.12), le champ PV sera constitué de 16 de modules de 250W (technologie mono cristallin) répartis sur une surface de 26m², comme suit :

- 04 modules en série.
- 04 modules en parallèle.

Résumé système global

Nombre de modules	16
Surface modules	26 m²
Puissance PV nominale	4.0 kWc
Puissance PV maximale	3.4 kWdc
Nombre régulateurs	1
Nombre de batteries	16 (8 en série x 2 en parallèle)
Battery pack voltage	96 V

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série: 4, Nb. chaînes: 4

Cond. de fonctionnement:

V _{mpp} (60°C)	95 V
V _{mpp} (20°C)	119 V
V _{co} (-10°C)	171 V
Irradiance plan	1000 W/m²
I _{mp} (60°C)	31.5 A
I _{sc} (60°C)	35.2 A
I _{sc} (aux STC)	35.1 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C): 3.19 kW

Puiss. nom. champ (STC): 4.00 kWc

Figure (III.12) : Dimensionnement du champ PV

III.12 Estimation budgétaire détaillée

Cette section présente les principaux équipements nécessaires à l'installation du système solaire autonome. Chaque composant est listé avec sa quantité, son prix unitaire estimé et son coût total. Ce tableau permet d'avoir une vue claire sur le budget global du projet. Il constitue une base pour l'évaluation économique et la prise de décision.

Équipement	Quantité	Prix unitaire (DZD ou €)	Total approximatif
Panneaux 250 Wc	16	35 000 DZD	280 000 DZD
Batteries 12V / 200 Ah	16	450 000 DZD	450 000 DZD
Régulateur MPPT 50A	1	100 000 DZD	100 000 DZD
Onduleur 3 kW sinus	1	120 000 DZD	120 000 DZD
Support, câbles, install	-	~15%	150 000 DZD
Total estimé			~1,1 million DZD

Table III.1 : Coût prévisionnel du système énergétique solaire pour la ferme caméline

III.13 Conclusion

Les installations photovoltaïques doivent être dimensionnées pour qu'elles puissent fournir de l'énergie dans les conditions les plus défavorables, ce qui nous permet d'aboutir à

une meilleure optimisation des installations photovoltaïques. Dans ce chapitre nous avons décrit les éléments d'une installation PV. Nous avons aussi présente les étapes de dimensionnement d'une centrale PV avec le logiciel PVSYST.

Le logiciel PVSYST s'est avéré être un outil puissant et efficace pour la simulation et la conception de systèmes photovoltaïques autonomes. Grâce à lui, nous avons pu étudier la faisabilité technique et économique d'un système solaire dédié à l'alimentation d'une ferme de dromadaires. L'analyse a porté sur le dimensionnement des panneaux solaires, la capacité des batteries de stockage, l'efficacité de l'onduleur, tout en tenant compte des conditions climatiques et des caractéristiques des charges électriques requises.

Les résultats obtenus démontrent que le système conçu est capable de répondre durablement aux besoins énergétiques, même durant les jours à faible ensoleillement. Le logiciel nous a également permis de calculer le coût total du système, facilitant ainsi l'évaluation de la viabilité financière du projet et garantissant un investissement rentable sur le long terme.

Conclusion générale

Dans le contexte saharien, où l'accès à l'énergie est souvent limité, l'intégration d'un système photovoltaïque autonome représente une solution stratégique, durable et adaptée aux réalités géographiques et économiques locales. Cette étude a permis de démontrer la faisabilité technique et la pertinence économique d'un tel système pour l'alimentation énergétique d'une ferme caméline à **Timimoun**, une région bénéficiant d'un ensoleillement exceptionnel et constant tout au long de l'année.

Grâce à une analyse précise des besoins énergétiques quotidiens de la ferme (pompage d'eau, réfrigération, éclairage, ventilation, etc.), le dimensionnement du système photovoltaïque a été effectué en prenant en compte les conditions climatiques, les pertes énergétiques, l'autonomie nécessaire en cas de faible ensoleillement, ainsi que la nature des charges électriques. Le système proposé comprend un générateur photovoltaïque d'environ 3 kWc, un banc de batteries de grande capacité assurant une autonomie de deux jours, un régulateur de charge MPPT, et un onduleur pur sinus.

Ce système permettrait de couvrir une demande énergétique estimée à environ 13 kWh/jour, tout en garantissant une autonomie, une fiabilité et une durabilité adaptées aux contraintes du milieu désertique (chaleur extrême, poussière, isolement). L'investissement initial, bien que significatif, reste compétitif face aux solutions basées sur les énergies fossiles, qui sont coûteuses à long terme et nuisibles à l'environnement.

D'un point de vue environnemental, ce projet contribue à la réduction des émissions de CO₂, à la préservation des ressources fossiles et à la promotion des énergies renouvelables dans les zones rurales. D'un point de vue socio-économique, il offre à l'éleveur une indépendance énergétique, une meilleure productivité et qualité de vie, tout en encourageant le développement local dans une région souvent marginalisée.

Enfin, cette démarche s'inscrit pleinement dans les objectifs de transition énergétique nationale et les engagements de l'Algérie en matière de développement durable. Elle peut servir de modèle reproductible pour d'autres fermes ou exploitations agricoles isolées à travers le Grand Sud algérien.

Références bibliographiques

- [1] : H. Hanane, « modélisation radiatif dans les strates supérieure d'un module photovoltaïque », mémoire fin d'étude, université m'Hamed bougera, Boumerdes, 2016/2017.
- [1] O. Benseddik, F. Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système PV », Mémoire de Master en Génie Electrique, université kasdi Merbah- Ouargla, 2012.
- [2] E. Schiller et B. S. Sy, « Le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », Univ. D'Ottawa, vol. 1, 1998.
- [3] "Guide des Energies Renouvelables", Ministère de l'Energie et des Mines, Algérie, Edition 2007.
- [4] "Cartes de l'Irradiation Globale et de l'Ensoleillement en Algérie", Portail Algérien des Energies , CDER, Algérie, 2015.
- [5] S. Bentouba, A. Slimani, M.S. Boucherit, M. Hamouda, *L'énergie renouvelable en Algerie et l'impact sur l'environnement*, 10th Intl. Meeting on Energ. Phys., J. of Scie. Research 1, (2010).
- [6] Book :La Météorologie 8e 42 série - n° 31 - septembre 2000 .
- [7]. Errahmani Aziza, Ben Othmane Nora, Amélioration de l'efficacité des panneaux photovoltaïque par l'installation d'un système de refroidissement par l'eau des modules PV, mémoire de mastère, université d'Ahmed Draia, Adrar, 2019.
- [8] HADJ BELKACEMI Mohammed « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé ».Mémoire de Master en Energétique, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen2011 page.07.11.13.14.
- [9] F. Yacine « étude des nouvelles générations de cellules photovoltaïques » Mémoire de magister, université de Mohamed Boudiaf Oran ,2010.
- [10]Touil Nacer Eddine ,Ghenbazi Slimane « Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque ».mémoire de master académique, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued,2015.
- [11] T. Khaoula, «Modélisation du rayonnement solaire global pour différentes définitions de la durée du jour.,» 2023, p. 22. Mémoire master ,Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj.
- [12] Mm Samira MOUHOUS-CHAOUCHI « Etude statique du rayonnement solaire sur un plan incliné ».mémoire de Magister en Energies Renouvelables, Université Abou Bekr Belkaid ,2012.

Références Bibliographiques

- [13] BELAID LALOUNI Sofia , « Cours Energie Solaire Photovoltaïque », Université A.MIRA de BEJAIA le 2014/2015.
- [14] E. Matagne, R. Chenni, R. El Bachtiri « A photovoltaic cell model based on nominal data Only » Proceedings of the international conference on power Engineering Energy and Electrical Drives Powering, Setubal, Portugal, 12-14 April, ISBN: 1-4244-0895-4, pp. 562-565, 2007.
- [15] KIAL Ali et LAHMAR Omar Farouk: « techniques de détection des défauts dans un panneau photovoltaïque, Mémoire de master en électrotechnique, Université ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM, faculté des sciences et de la technologie département de génie électrique.
- [16] M. Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse doctorat 2006 Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes (LAASCNRS).
- [17] Philippe Guibert : « TP Energie Solaire » Université pierre et marie curie : Master Energétique et Environnement.
- [18] Vechiu, I. Modelisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome. PhD these , (2005).
- [19] Sumathi, S., Kumar, L. Ashok, P. Surekha, "Solar PV and Wind Energy Conversion Systems: An Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques" Livre 2015.
- [20] Pétion Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [21] Nichapour Oleksiy (simulation, fabrication et analyse de cellule photovoltaïque à contacte arrières inter digités) Thèse de doctorat. l'institut national des sciences appliquées de Lyon 2005.
- [22] Cédric Abbezzot , (2014). Système inertiel de stockage d'énergie couplé au générateur photovoltaïque et piloté par un simulateur temps réel. Mécanique [physics]. Université Pascal Paoli, Français.
- [23] J .Royer, T. Djiako, E. Schiller « le pompage photovoltaïque » manuel de cours à l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque nationale du Canada, 1998.
- [24] BOUKLI-HACENE Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (Décembre 2011).

Références Bibliographiques

[25]F. Mohammed M. Khair eddine <<Etude et gestion d'un système hybride>>, Mémoire MASTER, 07/07/2019 .

[26] Soufi Aicha, «Couverture optimisée des besoins électriques d'origine renouvelable d'une exploitation agricole située en zone montagneuse Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables, URMER B.P 119, 13000, Tlemcen, Algérie, 2018 .

[27] Clarence Semas sou, « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétique adaptes aux besoins de bénin », Thèse doctorat en Mécanique, L'Université Bordeaux1Ecole doctorale : Sciences Physiques pour l'Ingénieur (SPI), 2011.

[28] Toussai BEN KHEMMOU, «Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER», MASTER ACADEMIQUE en Génie Electrique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2014.

[29] ZIDANE Ammar, «Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz» Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa (Promotion Juin 2012).

[30] :BELLALA Djamel, «Contribution à l'Optimisation des Systèmes de Conversion d'Energie. Application aux Systèmes Photovoltaïques», Thèse Doctorat, Université de Batna .

[31] :LAHLOU Samir, Mémoire de fin d'études «Détection et localisation des défauts convertisseurs statiques dans un système Photovoltaïque raccordé au réseau moyenne tension », Université M'Hamed BOUGARA – Boumerdes, Juin 2016.

[32] Cours Master.Maintenance.pdf.

[33]L.Bun, détection et localisation des défauts pour un système PV , Thèse de doctorat ,Université de Grenoble,2011.