

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'étude en Master

Domaine : Science et Technique

Filière : Electronique

Option : Instrumentation

Par :

Chettouh Aimen Abdrazake

Hamri Abdelkader

Thème:

Etude et simulation d'une ombrière solaire connectée au réseau électrique
au sein de la faculté de technologie de l'Université Ammar Telidji de
Laghouat

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Birane Mouhoub	MCA	Président
Bouchiba Oumelkheir	MCB	Examinateur
Vilboi Leila Amal	MAA	Rapporteur

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme Vilbois Leila, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous ne pouvons pas oublier d'exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué et tendu la main pour achever ce travail et le faire exister.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.





Dévouement


وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

À celui dont le front était trempé de sueur, et qui m'a appris que le succès ne vient qu'avec la patience, la persévérance et la volonté, à celui qui a fait le sacrifice le plus précieux et dont j'ai tiré ma force, mon cher père chettouh Salim رحمه الله.

À celle que Dieu a placé le paradis sous ses pieds et qui m'a facilité l'adversité par ses prières, à celle qui a été mon soutien, mon atout et la source de ma force, à ma chère bien-aimée qui a toujours souhaité me voir dans ce jour, ma chère mère, Nadjat Bensaleh

A ceux qu'avec eux j'ai renforcé mon soutien, mes frères et ma sœur chère et mon cousin

Aux amis fidèles, compagnons de route depuis des années, à ceux qui ont partagé avec moi leurs sentiments sincères et leurs conseils, ma deuxième famille.



I. Introduction générale	1
Chapitre I : Notion de base sur système PV	
I. Introduction	3
II. Le gisement de la wilaya de Laghouat.....	3
III. Rayonnement solaire	4
III.1. Rayonnement direct	4
III.2. Rayonnement diffus	4
IV. La cellule photovoltaïque	4
IV.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	6
IV.2 Les différents types de cellules solaires et leur rendement	6
IV.2.1 Les cellules monocristallines	7
IV.2.2 Les cellules poly cristallines	7
IV.2.3 Les cellules amorphes	7
IV.3 Rendement d'une cellule PV	8
IV.4. Module photovoltaïque	8
IV.5. Association des cellules	9
IV.5.1 Association des cellules en série	9
IV.5.2 Association en parallèle	10
IV.5.3 Association mixte des cellules	10
IV.6. Composition de la cellule solaire	11
V. Panneau photovoltaïque	12
VI. L'effet photovoltaïque	12
VII. Les caractéristiques électriques des cellules et modules PV	13
VII.1 La puissance crête, P_c	13
VII.2 La caractéristique $I=f(V)$	13
VII.3 Tension à vide	13
VII.4 Courant de court-circuit	13
VII.5 Point de fonctionnement optimum MPPT	13
VII.6 Rendement	13
VII.7 Facteur de forme	13
VII.8 la résistance de shunt "R_{sh}"	14
VII.9 la résistance série "R_s"	14
VIII. Influence d'éclairement et de la température.....	15
VIII.1 Influence d'éclairement.....	15
VIII.2 Influence de la température.....	15
X. Conclusion	16

Chapitre II : Conversion d'énergie d'un système PV

I. Introduction	17
II. Définition d'un système photovoltaïque (PV).....	17
III. Les paramètres d'un système photovoltaïque	18
III.1 Panneaux solaires	18
III.1.1 Structures de montage	19
III.3 Convertisseurs DC/DC	20
III.3.1. Introduction	20
III.3.2. Les convertisseurs statiques	20
III.3.2.1 Définition	20
III.3.2.2 Fonctions de base et terminologie des convertisseurs statiques.....	21
III.3.3 Les types des convertisseurs de tension DC/DC « HACHEUR ».....	21
III.3.3.1 Convertisseur élévateur « BOOST ».....	22
III.3.3.1.1 Principe de fonctionnement.....	22
III.3.3.2 Convertisseur abaisseur « BUCK».....	23
III.3.3.2.1 Principe de fonctionnement.....	24
III.3.3.3 Convertisseur inverseur « BUCK - BOOST ».....	24
III.4. Maximum Power Point tracking (MPPT).....	25
III.4.1 Introduction	25
III.4.2 Principe de fonctionnement.....	25
III.4.3 Classification des MPPT :.....	26
III.4.3.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche.....	27
III.4.3.1.1 Méthodes indirectes.....	27
III.4.3.1.2 Méthode directe	27
III.4.3.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée.....	27
III.4.3.2.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS.....	27
III.4.3.2.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur.....	27
III.5. LES ONDULEURS.....	28
III.5.1 Introduction.....	28
III.5.2 Principe de fonctionnement.....	28
III.5.3 Les types d'onduleur.....	29
III.5.3.1 Le type d'onduleur monophasé.....	29
III.5.3.2 Le type d'onduleur triphasé	29
III.5.4 Différentes architectures des onduleurs	29

III.5.4.1 L'onduleur central.....	29
III.5.4.2 Les onduleurs chaines (strings).....	30
III.5.4.3 Les onduleurs intégrés aux panneaux PV.....	31
III.6 LES BATTERIES.....	32
III.6.1 Introduction	32
III.6.2 Structure de la batterie	32
III.6.3 Principe de fonctionnement.....	33
III.6.4 Durée de vie d'une batterie solaire.....	33
IV. Classification des systèmes PV.....	34
IV.1 Systèmes autonomes	34
IV.1.1 Définition.....	34
IV.1.2 Types de systèmes PV autonomes.....	35
IV.1.2.1 Les systèmes au fil du soleil.....	35
IV.1.2.2 Les systèmes avec stockage.....	36
IV.2 Systèmes PV à injection aux réseaux	37
IV.2.1 Définition d'un système PV raccordé au réseau.....	37
IV.2.2 Classes des systèmes raccordés aux réseaux.....	37
IV.2.2.1 Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque).....	37
IV.2.2.2 Systèmes à petite puissance ou systèmes décentralisés.....	37
IV.2.2.3 Systèmes à Injection du surplus	38
IV.2.2.4 Systèmes à injection de la totalité	38
V. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS	39
V.1 AVANTAGES	39
V.2 LES INCONVENIENTS.....	39
VI. Conclusion	40

Chapitre III : Dimensionnement d'un parking PV

I. Introduction	41
II. Les automobiles électriques	41
II.1. Définition.....	41
II.2. La recharge	42
II.3. Les batteries	42
III. Les étapes de dimensionnement.....	43
IV. Traitement du projet.....	43

IV.1. Problématique.....	43
IV.2. Choix du panneaux	43
IV.2.1 Détermination du nombre des panneaux.....	44
IV.3. Choix d'onduleur.....	45
IV.3.1 Variation du tension en fonction de température.....	46
IV.3.1.1 Condition stc	46
IV.4 Compteur (Smart meeter).....	48
IV.5 Les éléments de protection électrique.....	49
IV.5.1 Fusible pour les branches.....	49
IV.5.2 Sectionneur DC.....	49
IV.5.3 Les Parafoudres.....	50
IV.5.4 Disjoncteur différentiel AC 6000/400V.....	50
IV.6 Devis quantitatif & estimatif.....	51
IV.7 Le schéma électrique.....	53
V. conclusion	53

Chapitre IV : Les résultats de projet du parking solaire

I. Introduction	54
II. Simulation du parking par le logiciel PVSYST.....	54
II.1. Logiciel PVSYST	54
II.2. Les Options de logiciel PVSYST	54
II.2.1 Pré dimensionnement	54
II.3 Conception/Dimensionnement du système	55
II.4 Utilisation de logiciel PVSYST	55
II.5 Coordonnées géographiques.....	55
II.6.Météo mensuelle.....	58
II.7. Les étapes pour faire les calculs	58
II.7.1.Etape 1 : l'orientation.....	59
II.7.2.Etape 2 : horizon.....	59
II.7.3.Etape3 : système.....	60
II.7.4.Etape 4 : simulation.....	61
II.8.Résultats principaux.....	65
II.8.1 Energie produite.....	65
II.8.2. Bilans.....	66

II.8.3.Diagramme des pertes système.....	67
II.8.4.Diagramme d'entrée/sortie journalier	68
II.8.5.Energie journalière à la sortie du système	69
II.8.6.Indice de performance (PR)	69
II.8.7.Détail des pertes système	70
II.8.8.Coefficient des performances normalisées	71
II.9. Le schéma synoptique du système photovoltaïque	72
III. Comparaison des résultats analytiques avec ceux expérimentaux.....	73
IV. Revenu du projet.....	73
V. Conclusion.....	74
Conclusion General	
Conclusion générale.....	75

Figure I.1: le site du central solaire Laghouat	3
Figure I.2: Structure de la cellule photovoltaïque	5
Figure I.3 : Schéma électrique réel d'une cellule photovoltaïque	5
Figure I.4: Principe d'une cellule PV l'effet photovoltaïque	6
Figure I.5 : Types des cellules photovoltaïques	7
Figure I.6: Module photovoltaïque	8
Figure I.7 Association des cellules en série	9
Figure I.8: Association des cellules en parallèle	10
Figure I.9 : Association mixte des cellules	10
Figure I.10: Schéma d'une cellule élémentaire	11
Figure I.11: Panneau photovoltaïque	12
Figure I.13 : Courbe des caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule Pv	14
Figure I .14 : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'ensoleillement	15
Figure I .15 : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température ...	15
Figure II.1. Système photovoltaïque	18
Figure II.2 <u>Panneaux solaires</u>	18
Figure II.3 : Boite de dérivation	19
Figure II.4: Symbole d'un convertisseur DC-DC	20
Figure II.5 : Réversibilité (et non réversibilité) des convertisseurs statiques	21
Figure II.6: Symbole et signaux du convertisseur	21
Figure II.7: Schéma de convertisseur élévateur « Boost »	22
Figure II.8: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost	23
Figure II.11: Schéma électrique d'un convertisseur buck	23
Figure II.12 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck	24
Figure II.15: schéma électrique d'un convertisseur buck-boost	25
Figure II.16 : Courbe caractéristique de puissance d'un GPV	26

Figure II.17 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque	26
Figure II.18: principe d'un système photovoltaïque raccordé au réseau	28
Figure II.19: Schémas de principe d'un onduleur central	30
Figure II.20: Schémas de principe onduleur string	31
Figure II.21: Onduleur intégré	31
Figure II.22: Structure de la batterie	32
Figure II.23: Principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion	33
Figure II.24 Système photovoltaïque plus détaillé	34
Figure II.25 Schéma d'un système autonome (hors-réseau)	35
Figure II.26 Système de Pompage PV	36
Figure II.27 : le système avec stockage	36
Figure II.28 Injection partielle	37
Figure II.29 Injection totale	37
Figure II.30 Systèmes à injection de la totalité	38
Figure III.1 : les type de Connecteur	42
Figure III.2 : GPL 12520 12V 52Ah	43
Figure III.3 : panneau yingli 340 W	43
Figure III.4 : schéma de structure	44
Figure III.5 : plan de faculté en 2D	45
Figure III.6 : onduleur SMA 100 KW	45
Figure III.7 : plage de tension d'onduleur	48
Figure III.8: compteur intelligent triphasé	48
Figure III.9 : Fusibles avec les portes cote positive	49
Figure III. 10 : Interrupteur sectionner DC	49
Figure III.11: protection contre les surtensions (parafoudre)	50
Figure III.12: Disjoncteur AC 160A	50
Figure III.13 : Schéma électrique du système	53
Figure IV .1 : Logiciel PVSYST	55

Figure IV.2 : Définition du projet et d’outil de simulation	56
Figure IV.3 : Base de données de PVSYST	56
Figure IV.4 : Affectation de la situation et la météo	57
Figure IV.5 : Paramètres de site géographique et Coordonnées géographiques	57
Figure IV.7 : Création du projet	58
Figure IV.8 : Réglage de l’orientation	59
Figure IV.9 : Réglage de l’horizon	59
Figure IV.10 : Réglage des paramètres du système	60
Figure IV.11 : PVSYST pour l’étape de la simulation	61
Figure IV.12 : Etape finale de PVSYST	61
Figure IV.13 : Paramètres de la simulation	62
Figure IV.14 : Diagramme des pertes	63
Figure IV.15 : Résultats principaux	64
Figure IV.16 : Productions normalisées : Puissance nominale 287.6 KWc	65
Figure IV.17 : Diagramme des pertes du système	67
Figure IV.18 : Diagramme d’entrée /sortie journalier	68
Figure IV.19 : Energie journalière à la sortie du système	69
Figure IV.20 : Indice de performance (PR)	69
Figure IV.21 : Schéma unifilaire du système photovoltaïque	72

Tableau I.1 : Rendement énergétique des trois principales technologies	8
Tableau II.1: récapitulatif des méthodes utilisées	28
Tableau II.2: Caractéristiques techniques des différents systèmes de configurations	32
Tableau III.1 : Caractéristiques du panneau 340W	44
Tableau III.2 : plaque signalétique d'onduleur	46
Tableau III.3 : Bilan Qualitatif et quantitatif de génie civil	51
Tableau III.4 : Bilan Qualitatif et quantitatif cote électrique	52
Tableau IV.1 : Paramètres de site géographique météo mensuel	58
Tableau IV.2: Bilans et résultats principaux	66
Tableau IV.3 : Détail des pertes du système	70
Tableau IV.4 : Coefficient de performance normalisé	71
Tableau IV.5: Comparaison entre les résultats de simulation et expérimentaux	73

Abstract

Solar energy is one of the most crucial renewable energy sources today, widely sought after for optimal exploitation due to its many environmental, economic and sustainable development benefits. The Algerian Sahara receives a significant amount of solar radiation throughout the year, with a very high rate of sunshine on its surface. In this thesis, we conducted an analytical study and a computer simulation for the implementation of a solar parking in the vast courtyard of our faculty. This project would use the space as a vehicle parking lot and as an electricity generator for the public grid. The car park, connected directly to the network, could provide a power of 287.6 kWp. The simulation results with the PVsyst software were perfectly compatible with the theoretical results obtained

Résumé

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelables les plus cruciales aujourd'hui, largement recherchée pour une exploitation optimale en raison de ses nombreux avantages environnementaux, économiques et de développement durable. Le Sahara algérien reçoit une quantité significative de rayonnement solaire tout au long de l'année, avec un taux d'ensoleillement très élevé à sa surface. Dans ce mémoire, nous avons mené une étude analytique et une simulation informatique pour la mise en place d'un parking solaire dans la vaste cour de notre faculté. Ce projet permettrait d'utiliser l'espace comme un stationnement pour véhicules et comme un générateur d'électricité pour le réseau public. Le parking, connecté directement au réseau, pourrait fournir une puissance de 287,6 kWc. avec des chargeur automobile Les résultats de la simulation avec le logiciel PVsyst ont été parfaitement compatibles avec les résultats théoriques obtenus

Mots clés : Dimensionnement, Modélisation et Simulation, Système photovoltaïque connecté au réseau (ON-GRID), Onduleur réseau,

المخلص

الطاقة الشمسية هي واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة اليوم، والمطلوب على نطاق واسع للاستغلال الأمثل بسبب فوائدها البيئية والاقتصادية والتنمية المستدامة العديدة. تتلقى الصحراء الجزائرية كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي على مدار العام، مع معدل مرتفع جداً من أشعة الشمس على سطحها. في هذه الأطروحة، أجرينا دراسة تحليلية ومحاكاة حاسوبية لتنفيذ موقف سيارات بالطاقة الشمسية في الفناء الشاسع لأعضاء هيئة التدريس لدينا. سيستخدم هذا المشروع المساحة كموقف للسيارات وكمولد كهرباء للشبكة العامة. يمكن أن يوفر موقف السيارات، المتصل مباشرة بالشبكة، قوة 287.6 كيلو وات. كانت متوافقة تماماً مع النتائج النظرية التي تم الحصول عليها PVsyst نتائج المحاكاة مع برنامج

- **MPPT**: Poursuit du point de puissance maximale.
- **PV**: Photovoltaïque.
- **GPV**: Générateur Photovoltaïque.
- **PPM**: Point de Puissance Maximale.
- **MLI**: Modulation de Largeur d'Impulsion.
- **P&O**: Perturbation et Observation
- **DC**: Courant Continu (Direct Current).
- **AC**: Courant Alternatif (Alternative Current).
- **RS** : La résistance séries.
- **Rp** : La résistance parallèle.
- **NS**: Nombre de module en série.
- **NP**: Nombre de module en parallèle.
- **V_{pv}** : tension à la sortie du générateur PV
- **I_{pv}**: Courant à la sortie du générateur PV
- **I_{cc} (I_{sc})** : Le courant de court-circuit (A)
- **V_{oc}** : La tension de circuit ouvert (V)
- **P_{max}** : La puissance maximale produite PV (W)
- **V_{max}** : Tension qui correspond à la puissance maximale (V)
- **I_{max}**: Courant qui correspond à la puissance maximale (A)
- **T** : Température
- **STC** : Conditions de Test Standard

Introduction Générale

L'énergie a longtemps été le moteur principal de la vie humaine, jouant un rôle crucial dans toutes les activités professionnelles et soutenant le développement durable des pays. La production d'énergie est indispensable pour satisfaire les besoins énergétiques tant des pays développés que de ceux en voie de développement. Ces besoins ont considérablement augmenté au cours des dernières années. En effet, la production d'énergie a triplé depuis les années 1960 jusqu'à aujourd'hui, la majorité de la production mondiale provenant de sources fossiles telles que le charbon, le pétrole, le gaz naturel et l'uranium [21]

La consommation de ces sources entraîne des émissions de gaz à effet de serre, augmentant ainsi la pollution et les problèmes environnementaux. De plus, une consommation excessive des ressources naturelles réduit dangereusement les réserves de ce type d'énergie pour les générations futures [21]

Pour toutes ces raisons, les pays avec de grands besoins énergétiques se tournent vers des sources d'énergies renouvelables telles que le soleil, le vent, l'eau, la biomasse et la géothermie. Ces sources offrent des solutions très prometteuses pour rivaliser avec les autres sources d'énergie. Leur exploitation permettrait à l'humanité de satisfaire ses besoins énergétiques tout en protégeant l'environnement [22]

L'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, à partir d'images satellites, que l'Algérie possède le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, avec 169 000 TWh/an pour le solaire thermique et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le Sahara algérien est parmi les régions les plus ensoleillées au monde, avec une intensité énergétique dépassant 6000 kWh/m²/jour et une durée d'ensoleillement d'environ 3500 heures/an [23]

L'utilisation de modules photovoltaïques comme source d'énergie électrique a souligné la nécessité d'étudier ces systèmes afin de les optimiser. De plus, la France a annoncé qu'à partir de 2030, toutes les voitures neuves vendues devront être électriques, accentuant l'importance des énergies renouvelables pour répondre à la demande croissante d'électricité [23]

Dans le premier chapitre, Il commence par présenter la région de Laghouat comme un site favorable, avec un ensoleillement généreux. Ensuite, il explore les principes du rayonnement solaire et de la conversion de l'énergie lumineuse en électricité via les cellules photovoltaïques nous allons présenter les différentes notions de base et le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque (PV), ainsi les constituants d'un module PV. De plus, nous allons rappeler les grandeurs caractéristiques d'un module PV, les différentes manières de liaison des panneaux photovoltaïques. Enfin, l'impact des conditions environnementales, telles que l'ensoleillement et la température, sur les systèmes photovoltaïques

Au chapitre deux , on présente les types des systèmes existés et nous abordons les convertisseurs DC/DC leur principe de fonctionnement ainsi que les différents types. A la suite du chapitre nous parlerons des commandes du MPPT ; principe de fonctionnement, quelques algorithmes, et du choix de la commande MPPT ensuite on étudie les composants électriques d'un système

Introduction Générale

photovoltaïque connectés au réseau et le fonctionnement de l'onduleur solaire
Enfin on a présenté les avantages et les inconvénient du système photovoltaïque

Et dans le troisième chapitre sera consacré sur les automobile électrique et les étapes de dimensionnement et a la présentation de la problématique du projet de parking solaire et l'étude qualitative et quantitative,

Dans le quatrième chapitre nous présenterons les résultats de simulation du projet du parking par le logiciel PVSYST, les étapes de calcul théorique, le schéma synoptique du système photovoltaïque, le schéma expérimental, et enfin la comparaison entre les résultats de la simulation et le calcule théorique avec une large discussion.

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque, générée par le rayonnement solaire, représente une forme d'énergie renouvelable majeure qui a suscité un intérêt croissant ces dernières années. Elle est très accessible à tout le monde. Cette source d'énergie offre la possibilité de produire trois types d'énergies distinctes : l'énergie calorifique via des installations solaires thermiques telles que les chauffe-eau solaires ou les climatiseurs solaires, l'énergie électrique grâce aux installations solaires photovoltaïques, et l'énergie solaire à concentration thermodynamique

I.2 Le gisement de la wilaya de Laghouat

Située entre 830 mètres d'altitude à l'ouest et 790 mètres d'altitude au nord, aux coordonnées géographiques de latitude $33^{\circ}46'$ et longitude $2^{\circ}56'$, la ville de Laghouat bénéficie en moyenne de 7 heures d'ensoleillement par jour. Son potentiel énergétique solaire est évalué à 6 kilowatts par mètre carré, avec une durée d'insolation annuelle de 2947,8 heures.



Figure I.1: le site du central solaire Laghouat. [1]

I.3 Rayonnement solaire

La principale source d'énergie solaire est le rayonnement solaire. Il se diffuse par des ondes dont la longueur est habituellement comprise entre 0,2 et 4 micromètres. Il n'y a pas de support physique pour cette propagation qui atteint la surface terrestre après avoir perdu une partie de son intensité, principalement en raison de l'absorption d'une partie de son spectre ultraviolet.

Trois types de rayonnement solaire sont caractérisés : le rayonnement global, le rayonnement direct, le rayonnement diffus et l'albédo. [1,2]

I.3.1 Rayonnement direct

Le rayonnement émis directement par le Soleil crée des ombres et peut être concentré à l'aide de miroirs. Il est possible de le mesurer à l'aide d'un pyromètre. [1]

I.3.2 Rayonnement diffus

Les nuages, le sol ou les bâtiments émettent un rayonnement diffus qui se propage dans toutes les directions. Il peut être mesuré avec un pyromètre, avec un écran pour dissimuler la lumière directe du Soleil. [1]

I.4 La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque, aussi connue sous le nom de cellule PV ou photopile, joue un rôle crucial dans la transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique continue. Le silicium (Si), le sulfure de cadmium (CdS) ou le tellure de cadmium (CdTe) sont les matériaux semi-conducteurs qui la composent principalement. [3,4] La figure (I.1) présente la structure élémentaire d'une cellule photovoltaïque, qui comprend les éléments suivants:

- Électrode négative
- Électrode positive
- Silicium dopé de type N
- Silicium dopé de type P
- Couche limite

Couche limite : est une région critique dans laquelle les effets de surface influent sur le comportement global du fluide, et elle est essentielle pour comprendre et concevoir divers systèmes impliquant des interactions fluides-surface [5]

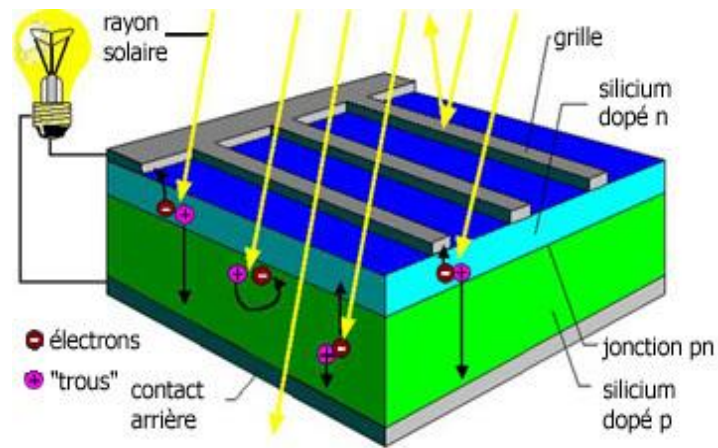


Figure I.2: Structure de la cellule photovoltaïque[2].

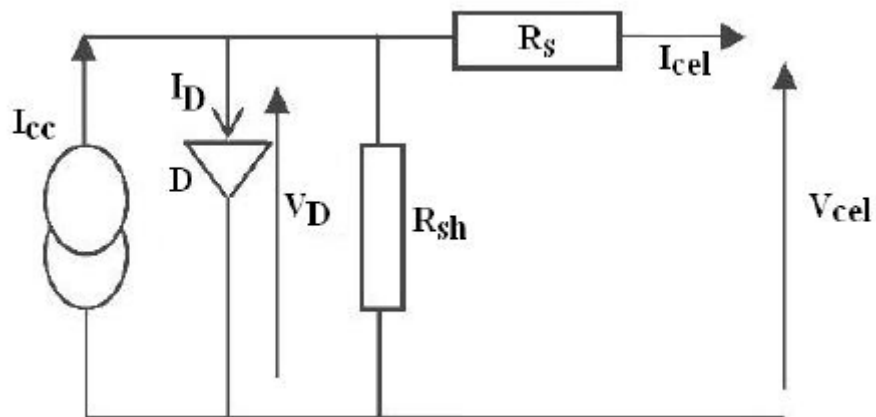


Figure I.3 : Schéma électrique réel d'une cellule photovoltaïque [3]

L'équation de base de la théorie des semi-conducteurs qui décrit mathématiquement la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque idéale est :

$$I = I_{pv,cell} - I_{0,cell} \left[\exp\left(\frac{qV}{aKT}\right) - 1 \right]$$

Ou :

$I_{pv,cell}$ est courant généré par la lumière incidente.

$I_{0,cell}$ est le courant de fuite de la diode.

K est la constante de Boltzmann ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K).

T en Kelvin est la température de la jonction p-n

a est le facteur d'idéalité de la diode.

I.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

La formation de la jonction PN dans la cellule photovoltaïque se produit lorsque les deux côtés du substrat du matériau semi-conducteur sont dopés de manière différente, créant ainsi une barrière de potentiel qui sépare les zones dopées en N et P. Quand le semi-conducteur absorbe les photons, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN, ce qui libère des électrons qui génèrent des charges négatives (N) et des trous qui génèrent des charges positives (P). Cette situation entraîne une disparité de potentiel entre les deux couches, qui peut être mesurée entre les bornes positives et négatives de la cellule. [3]

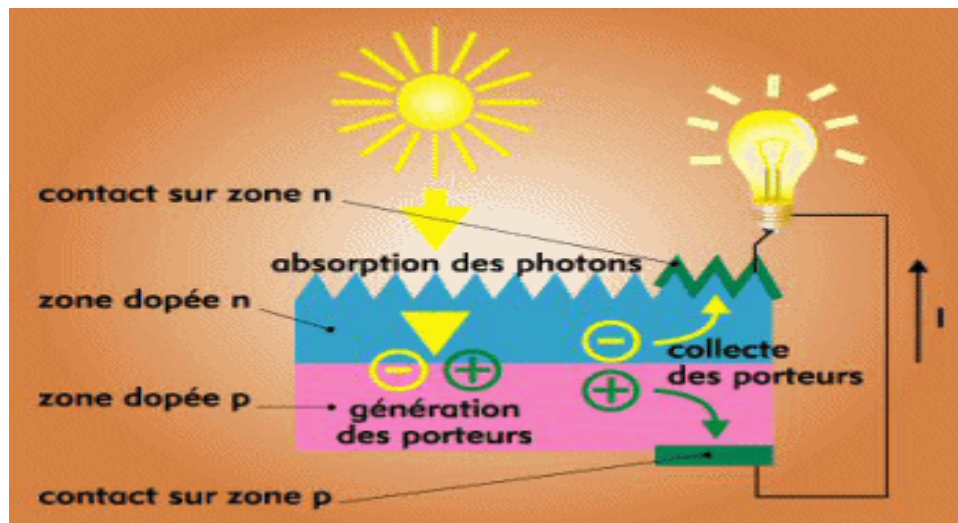


Figure I.4: Principe d'une cellule PV l'effet photovoltaïque [5]

I.4.2 Les différents types de cellules solaires et leur rendement

On peut fabriquer une cellule photovoltaïque en utilisant différents semi-conducteurs. D'ailleurs, il y a actuellement trois grandes industries technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques, ainsi que d'autres technologies telles que le cuivre-indium-gallium-sélénium (CIGS) et le cadmium Telluride (CdTe). Actuellement, le silicium est le matériau le plus couramment employé pour la production de cellules photovoltaïques, car il est très répandu dans la nature. [3]

I.4.2.1 Les cellules monocristallines :

Elles offrent le meilleur rendement tout en étant très coûteuses, car leur production est complexe. Le rendement de cette cellule photovoltaïque est d'environ 25 %, ce qui en fait l'un des meilleurs sur le marché. Les panneaux solaires constitués de cellules en silicium monocristallin ont une durée de vie d'environ 30 ans.

I.4.2.2 Les cellules poly cristallines :

Elles sont moins performantes que les précédentes, leur coût de production est moins élevé et la conception est plus ou moins simple. Les prix de production sont plus abordables et elles offrent un rendement de 14 à 18 %.

I.4.2.3 Les cellules amorphes :

Elles sont employées dans les produits de petite taille tels que les calculatrices et les montres, elles offrent un rendement assez faible et requièrent des épaisseurs de silicium très faibles, ce qui entraîne un coût plus élevé. Ils ne produisent qu'entre 6 et 9 % de rendement.

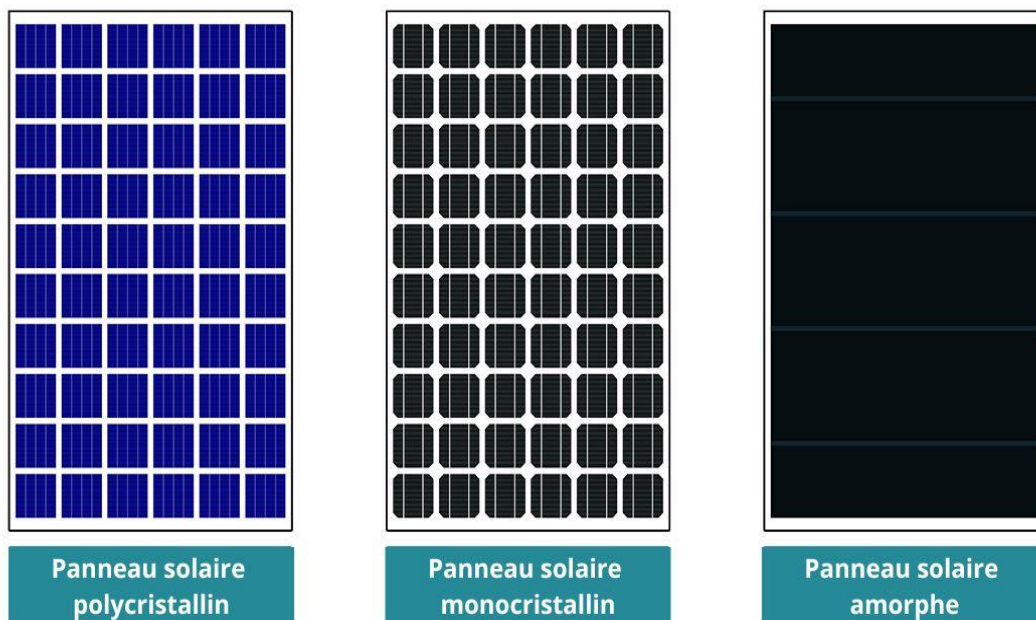


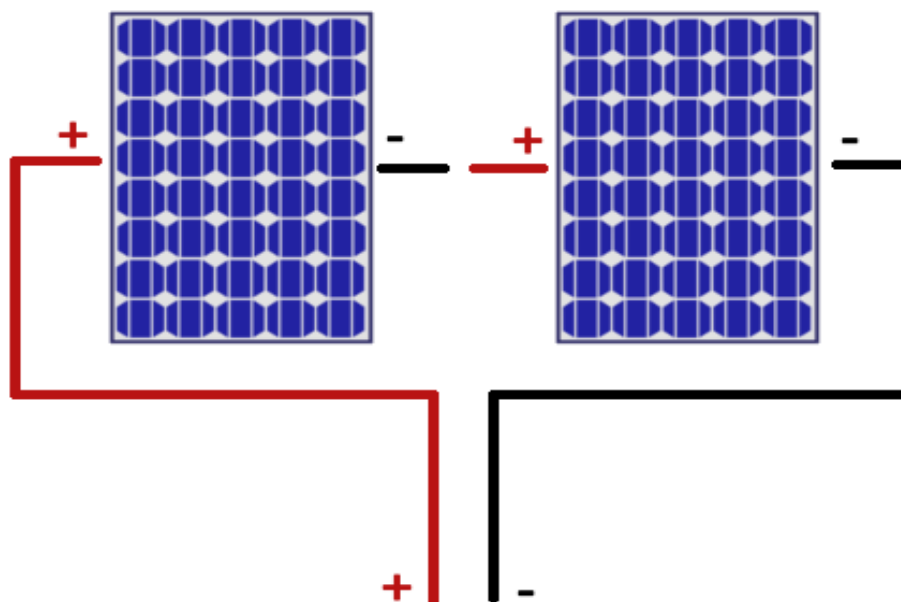
Figure I.5 : Types des cellules photovoltaïques [6]

I.4.3 Rendement d'une cellule PV :**Tableau I.1 : Rendement énergétique des trois principales technologies.**

Type de cellule	Coefficient de performance de la cellule (%)
Cellule à base de silicium monocristallin	15 –24
Cellule à base de silicium poly cristallin	14 –18
Cellule à base de silicium amorphe	6 –9

I.4.4. Association des cellules :**I.4.4.1 Association des cellules en série :**

Les cellules photovoltaïques sont fréquemment reliées en série afin d'accroître la tension de sortie. La tension totale est la somme des tensions individuelles lorsque des cellules sont connectées en série, tandis que le courant demeure identique à celui d'une seule cellule. [7]

Branchement de panneaux en série**Figure I.7 Association des cellules en série [8]**

I.4.4.2 Association en parallèle :

La tension de chaque cellule est la même que celle de la branche lorsque des cellules identiques sont connectées en parallèle, et l'intensité totale du courant électrique est la somme des intensités de courant traversant chaque cellule individuelle. [8]

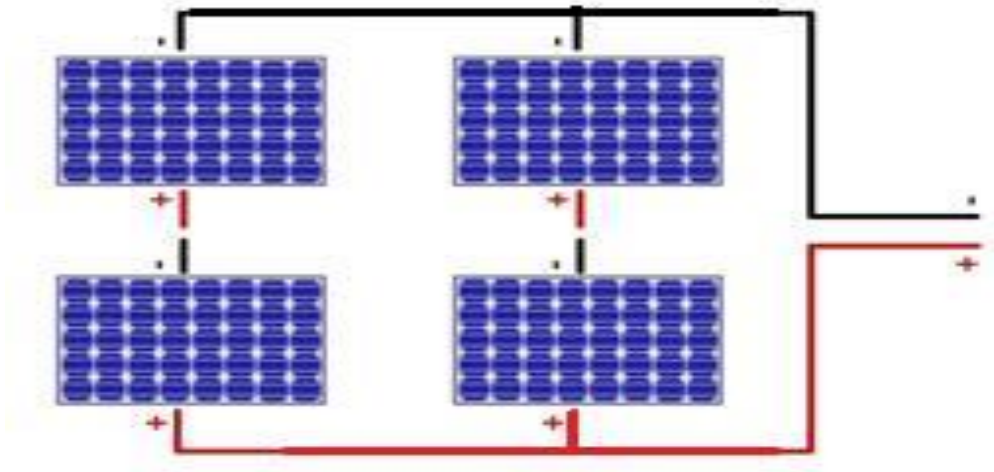


Figure I.8: Association des cellules en parallèle[9]

I.4.4.3 Association mixte des cellules : En combinant des cellules identiques de manière mixte, c'est-à-dire en utilisant des associations parallèles et en série, la tension et l'intensité globale augmentent en proportion du nombre de branches. [8]

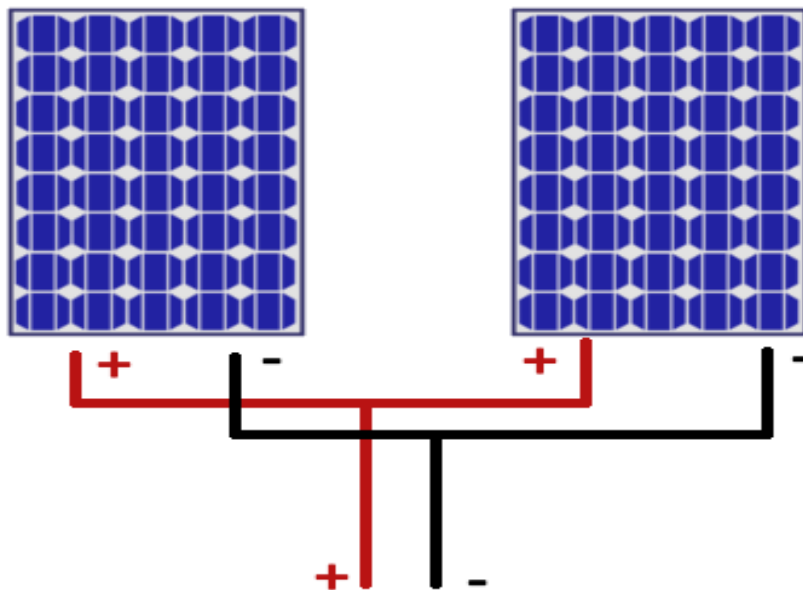


Figure I.9 : Association mixte des cellules [10]

I.4.6. Composition de la cellule solaire

La cellule solaire photovoltaïque opère de la même façon qu'une diode photosensible. Elle est constituée de deux fines couches d'un semi-conducteur dopées de manière différente. L'excès d'électrons périphériques dans la couche N est compensé par un déficit d'électrons dans la couche P, ce qui entraîne une différence de potentiel entre les deux couches. Quand les électrons périphériques de la couche N absorbent les photons lumineux, ces derniers traversent la barrière de potentiel et produisent un courant électrique continu. Afin de recueillir cette tension, des électrodes sont placées par sérigraphie sur les deux couches du semi-conducteur. L'électrode supérieure joue le rôle d'une grille, offrant ainsi la possibilité de passer les rayons lumineux. Une couche anti-reflet est ensuite appliquée sur cette électrode afin d'accroître l'absorption de lumière [4]

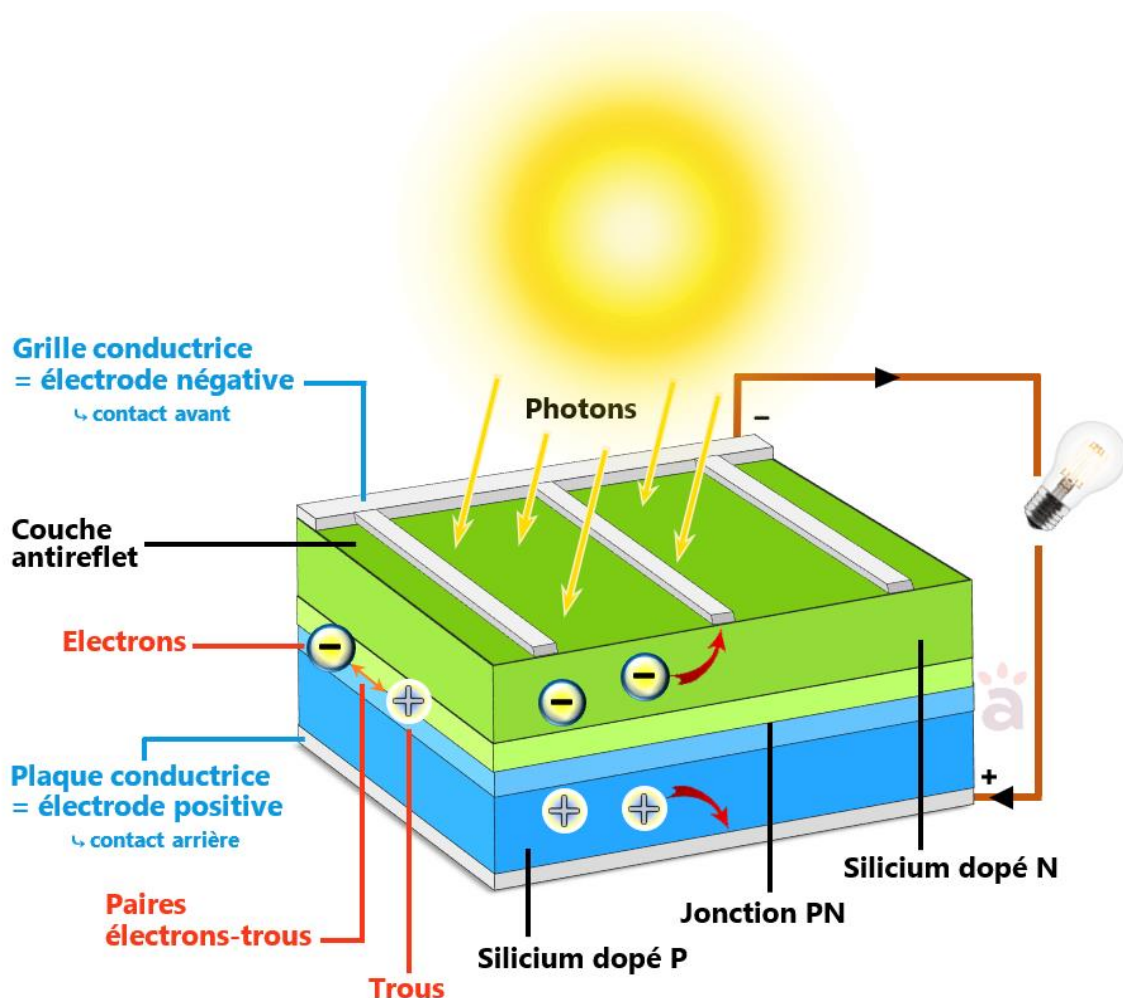


Figure I.10: Schéma d'une cellule élémentaire [11]

I.5 Panneau photovoltaïque :

Le panneau solaire, également connu sous le nom de champ solaire, est composé de modules photovoltaïques reliés en série et/ou en parallèle pour générer la puissance requise. Ces modules sont fixés sur une structure métallique spécialement élaborée pour appuyer le champ solaire avec un angle d'inclinaison précis. Les sorties de chaque panneau peuvent être multipliées par le nombre de modules, ce qui entraîne l'utilisation de boîtes de dérivation pour regrouper toutes les connexions. La boîte de dérivation, fixée sur la structure de montage, joue un rôle essentiel en garantissant les connexions entre les modules pour maximiser la puissance en sortie [9]



Figure I.11: Panneau photovoltaïque [12]

I.6 L'effet photovoltaïque :

Selon la relation suivante, l'effet photovoltaïque repose sur la capacité des photons du rayonnement solaire à transporter une énergie spécifique.

$$V = V_{oc} - I \cdot R_s$$

Où :

- V représente la tension de la cellule photovoltaïque,
- V_{oc} est la tension de circuit ouvert
- I est le courant traversant la cellule,
- R_s est la résistance de série de la cellule.

La majorité de ce rayonnement solaire est composé de rayonnements électromagnétiques qui ressemblent à ceux émis par un corps noir chauffé à une température extrêmement élevée. On remarquera que le spectre de l'énergie solaire, quand elle pénètre dans l'atmosphère terrestre, est déplacé vers le rouge et l'infrarouge par rapport au spectre observé en dehors de l'atmosphère. [9]

I.7 Les caractéristiques électriques des cellules et modules PV :

En règle générale, les modules sont des parallélépipèdes rectangles rigides minces (d'une épaisseur de quelques centimètres), présentant les caractéristiques suivantes [2]

I.7.1 La puissance crête, P_c :

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C, 1000 W/m²).

I.7.2 La caractéristique $I=f(V)$:

Figure qui illustre le courant I consommé par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

I.7.3 Tension à vide :

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

I.7.4 Courant de court-circuit :

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

I.7.5 Point de fonctionnement optimum MPPT :

C'est le point de fonctionnement en plein soleil quand la puissance crête est maximale.

$$P_m = V_{mp} \times I_{mp}$$

V_{mp} est la tension optimale de fonctionnement

I_{mp} est le courant optimal de fonctionnement

I.7.6 Rendement :

C'est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, à la puissance de rayonnement incident sur la surface de la cellule.

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Puissance d'entre}}{\text{Puissance de sortie}} \times 100\%$$

I.7.7 Facteur de forme :

Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

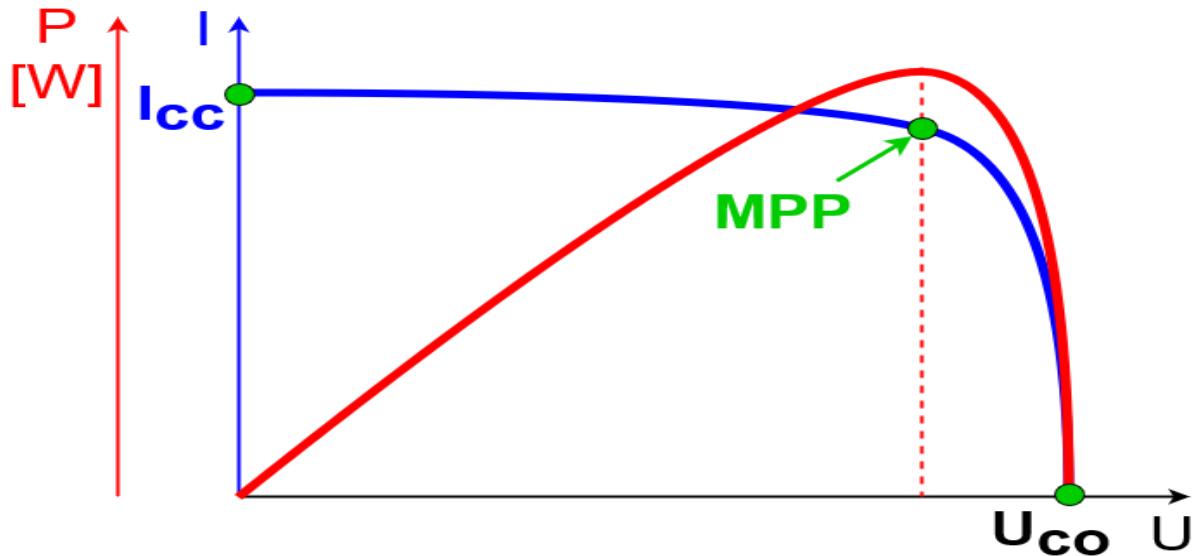


Figure I.13 : Courbe des caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule Pv[13]

I.7.8 la résistance de shunt "Rsh "

Dans un système solaire. La capacité d'une cellule photovoltaïque à éviter les courants de fuite indésirables lorsqu'elle est exposée à une variation de tension est connue sous le nom de résistance de shunt. Autrement dit, elle désigne la propension du courant électrique à « fuir » autour de la cellule plutôt que de traverser le circuit électrique désiré. La résistance de shunt (Rsh) joue un rôle essentiel dans la performance globale des panneaux solaires, car elle impacte leur capacité à convertir de manière efficace la lumière solaire en électricité.

I.7.9 la résistance série "Rs"

Dans un système solaire. Une mesure de la résistance interne d'une cellule photovoltaïque ou d'un panneau solaire est appelée résistance de série. La résistance est définie par la résistance du matériau semi-conducteur utilisé dans la fabrication du panneau solaire et par la manière dont ce matériau est relié entre eux.

La résistance de série restreint la capacité du panneau solaire à transporter le courant électrique en réponse à la lumière incidente. Une résistance de série accrue implique une perte de tension accrue à travers le panneau, ce qui peut entraîner une diminution de son rendement global. D'autre part, une résistance de série plus faible permet une circulation accrue de courant à travers le panneau, ce qui peut améliorer son rendement.

I.8 Influence d'éclairement et de la température

I.8.1 Influence d'éclairement

Solar pour divers ensoleillements à température constante. Comme illustré dans la figure, le courant du module varie en fonction de l'ensoleillement, tandis que la tension varie légèrement en fonction de l'ensoleillement. [9]

La figure (I.14) présente les caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$ d'un module

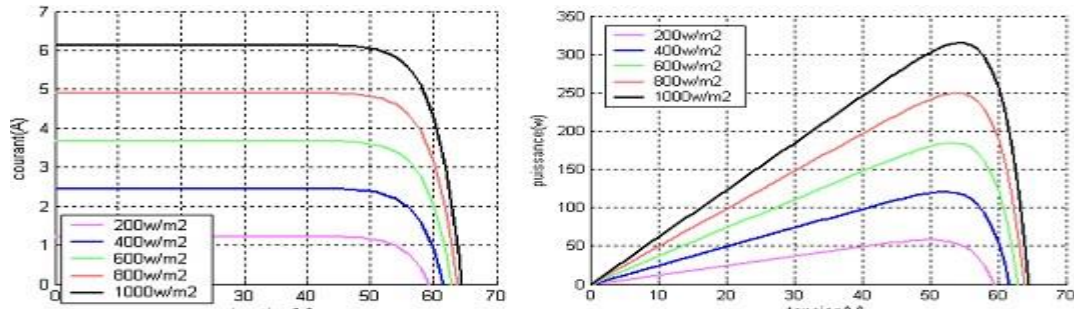


Figure I.14 : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'ensoleillement [14]

I.8.2 Influence de la température

L'impact de la température sur la caractéristique $I(V)$ est perceptible. Conformément à la figure (I.15), bien que la température influe légèrement sur le courant, son augmentation induit une baisse apparente de la tension [9]

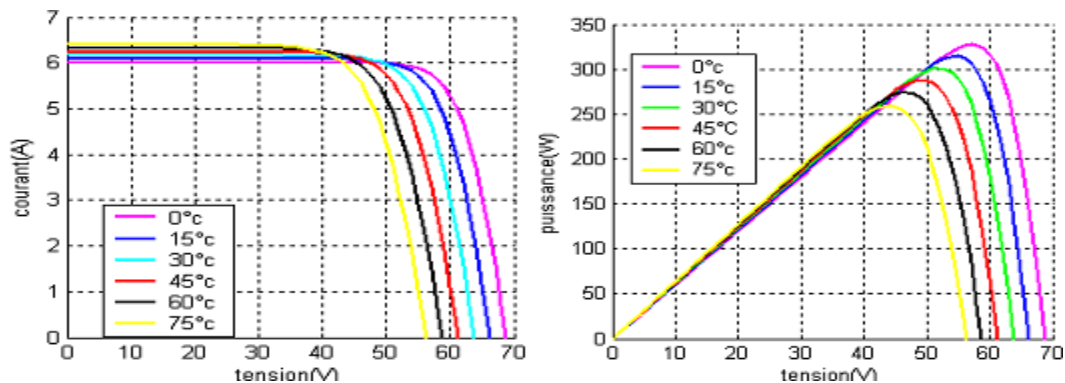


Figure I.15 : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température [15]

I.9 Conclusion

Le chapitre examine l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque, en mettant en avant son potentiel et ses aspects techniques. Il commence par présenter la région de Laghouat comme un site favorable, avec un ensoleillement généreux. Ensuite, il explore les principes du rayonnement solaire et de la conversion de l'énergie lumineuse en électricité via les cellules photovoltaïques.

Les différentes technologies de cellules solaires, comme les monocristallines et les polycristallines, sont détaillées, ainsi que leur assemblage en modules pour maximiser la production d'électricité. Le fonctionnement des cellules photovoltaïques, à travers la jonction PN et l'effet photovoltaïque, est expliqué en profondeur.

De plus, les caractéristiques électriques des cellules et des modules solaires sont abordées pour évaluer leurs performances. Enfin, l'impact des conditions environnementales, telles que l'ensoleillement et la température, sur les systèmes photovoltaïques est discuté.

Ce chapitre offre une vision complète de l'énergie solaire photovoltaïque, de ses bases théoriques à ses applications pratiques, soulignant son rôle essentiel dans la transition vers une énergie plus propre et durable.

II.1 Introduction

Les systèmes photovoltaïques (PV) représentent une technologie cruciale dans le paysage énergétique contemporain, offrant une solution durable et renouvelable pour la production d'électricité.

Basés sur l'exploitation directe de l'énergie solaire dans ce chapitre on va explorer en profondeur les composants essentiels des systèmes PV ainsi que les paramètres critiques qui déterminent leur performance et leur efficacité. Nous examinerons les éléments clés tels que les panneaux solaires eux-mêmes, les onduleurs, et les dispositifs de stockage de l'énergie, tout en analysant comment ces composants interagissent pour maximiser la production d'énergie électrique.

II.2 Définition d'un système photovoltaïque (PV)

Les systèmes photovoltaïques, également désignés sous le terme de systèmes PV, exploitent des modules photovoltaïques, tels que les panneaux bleus observés dans ces illustrations, pour convertir la lumière solaire en électricité. Ce processus génère un courant électrique dès lors que les modules sont exposés à la lumière solaire. Cette énergie peut être utilisée pour répondre à des besoins énergétiques individuels, être intégrée dans le réseau électrique, ou alimenter des appareils à faible consommation tels que des calculatrices ou des horloges, tout en contribuant à l'alimentation des réseaux électriques nationaux.

Les modules photovoltaïques produisent un courant continu, nécessitant dans certains cas une conversion en courant alternatif pour l'alimentation des appareils standards. Les systèmes autonomes intègrent souvent des accumulateurs électriques, permettant de stocker l'électricité produite durant les périodes d'ensoleillement afin de la rendre disponible en l'absence de luminosité solaire, notamment pendant la nuit ou par temps nuageux.

Par ailleurs, les systèmes photovoltaïques facilitent le pompage de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable des communautés et des troupeaux, même à partir de sources éloignées de toute infrastructure électrique. Les dispositifs de pompage d'eau présentent l'avantage de pouvoir stocker l'eau pompée dans des réservoirs, une méthode souvent plus pratique que le stockage de l'électricité.

Ces systèmes sont prisés dans les communautés isolées pour diverses raisons. En premier lieu, les modules photovoltaïques représentent la source d'électricité la plus fiable parmi les générateurs électriques, du fait de l'absence de pièces mobiles et de la nécessité limitée de surveillance sur de longues périodes. De plus, leur faible complexité et leur entretien aisé les rendent accessibles même à des utilisateurs peu expérimentés, contrairement aux groupes électrogènes thermiques.

Leur modularité permet également d'ajuster aisément le nombre de modules en fonction des besoins en électricité et du niveau d'ensoleillement disponible. Ainsi, un système peut initialement débiter avec un petit kit d'éclairage et évoluer au fil du temps en ajoutant des modules ou des accumulateurs supplémentaires en fonction des besoins énergétiques.

Enfin, ces systèmes sont largement appréciés pour leur caractère silencieux, leur absence d'émissions odorantes, et leur capacité à fournir de la lumière sans produire de chaleur, des aspects particulièrement bénéfiques dans les zones à climat chaud. [10]

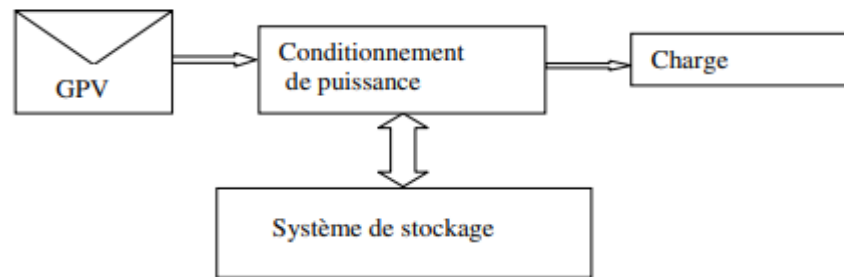


Figure II.1. Système photovoltaïque

II.3 Paramètres d'un système photovoltaïque

Les équipements nécessaires pour un parc solaire peuvent être regroupés en plusieurs catégories en fonction des fonctions qu'ils remplissent dans le système solaire. Voici une liste des principaux équipements que l'on retrouve dans un parc solaire

II .3.1 Panneaux solaires :

Ils captent la lumière du soleil et la convertissent en électricité. Les panneaux solaires peuvent être monocristallins, polycristallins ou à couche mince, et leur choix dépend de divers facteurs tels que l'efficacité, le coût et les conditions d'installation [9]

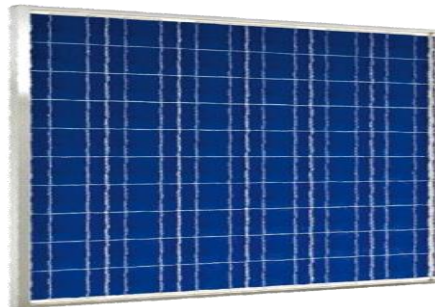


Figure II.2 Panneaux solaires [16]

II.3.2 Structures de montage :

Elles soutiennent et positionnent les panneaux solaires de manière à maximiser leur exposition au soleil. Les structures de montage peuvent être fixes, inclinables ou équipées de systèmes de suivi solaire pour suivre la trajectoire du soleil tout au long de la journée [9]

II.3.3 la boîte de dérivation

La boîte de dérivation, également appelée boîte de jonction, est un composant essentiel des systèmes photovoltaïques. Elle sert de point central de connexion pour les câbles provenant des différents modules solaires d'un panneau ou d'un ensemble de panneaux. Son rôle principal est de regrouper les connexions électriques des modules photovoltaïques et de fournir une protection contre les intempéries et les infiltrations d'eau. La boîte de jonction peut également intégrer des dispositifs de

Sécurité tels que des fusibles ou des interrupteurs de déconnexion pour faciliter la maintenance et assurer la sécurité du système. En résumé, la boîte de jonction permet de simplifier le câblage électrique, de protéger les connexions et d'optimiser les performances du système photovoltaïque [11]



Figure II.3 : Boîte de dérivation [17]

II.4 Convertisseurs DC/DC

II.4.1. Introduction

En électrotechnique, les systèmes utilisés permettent de modifier la nature de l'énergie électrique et de la transformer en une autre forme d'énergie (mécanique, thermique, chimique, lumineuse...etc.). En électronique, en automatique et en informatique, le traitement du signal (ou de l'information) est principalement étudié.

Il n'est pas toujours possible de relier directement une source électrique aux systèmes de l'électrotechnique traditionnelle (machines tournantes, éclairage, chauffage, climatisation ,...) qui convertissent l'énergie électrique. Il est donc nécessaire d'utiliser un appareil, qui agit comme une interface, permettant d'ajuster (de modifier) les caractéristiques de la source pour garantir son bon fonctionnement (et d'introduire des moyens de réglage du transfert d'énergie) [12].

II.4.2. Les convertisseurs statiques

II.4.2.1 Définition

Un convertisseur statique est un appareil composé de semi-conducteurs qui convertit de l'énergie électrique disponible en une forme adaptée pour alimenter une charge.

Les convertisseurs statiques désignent les appareils électroniques qui peuvent ajuster la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique. [12]

Deux catégories de sources de tension sont identifiées :

- Les sources de tension continues se distinguent par leur valeur V de tension.

Les valeurs de la tension efficace V_{eff} et de la fréquence f définissent les sources de tension alternatives.

Les moyens utilisés pour réaliser ce fonctionnement de convertisseur sont exclusivement électroniques (semi-conducteurs), ce qui permet :

- Une utilisation plus adaptée et plus souple de l'énergie électrique.
- La gestion, le transport et la distribution de l'énergie électrique doivent être améliorés.

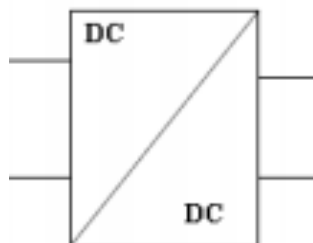


Figure II.4: Symbole d'un convertisseur DC-DC [18]

II.4.2.2 Fonctions de base et terminologie des convertisseurs statiques

On peut trouver l'énergie électrique de différentes manières, que ce soit sous forme alternative (réseau de distribution électrique, alternateurs) ou continue (batterie d'accumulateurs, génératrice à courant continu, cellules photovoltaïques, pile à combustible, ...).

Il est possible que la charge requiert une alimentation alternative ou continue. Quatre fonctions de base sont donc présentes dans les convertisseurs statiques. Les convertisseurs mono-étages transforment directement l'énergie électrique.

Il est considéré comme réversible un convertisseur statique lorsque l'énergie peut circuler (en général, être contrôlée) de manière bidirectionnelle, c'est-à-dire aussi bien dans un sens que dans l'autre. Les concepts d'entrée et de sortie n'apparaissent donc plus clairement. L'énergie d'une source est transférée vers une charge utilisatrice par un convertisseur non réversible (Figure II.5). [12]

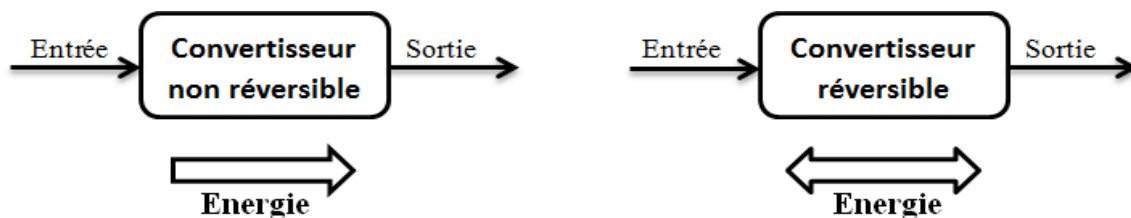


Figure II.5 : Réversibilité (et non réversibilité) des convertisseurs statiques. [19]

II.4.3 Les types des convertisseurs de tension DC/DC « HACHEUR »

Elles offrent la possibilité de réduire, augmenter et inverser une tension continue avec des pertes très faibles (Figure II.6). Ainsi, ils présentent un rendement exceptionnel, avec une faible consommation d'énergie par le transistor. [12]

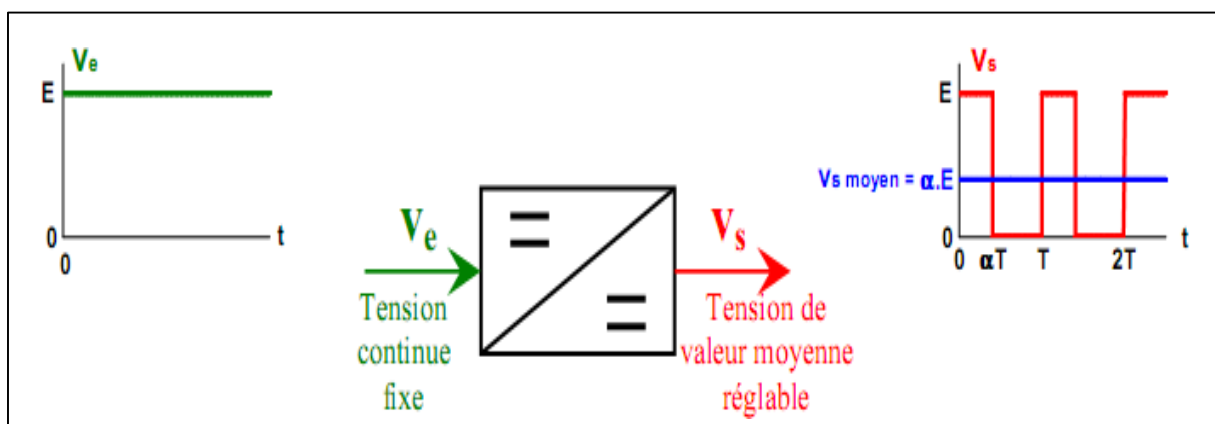


Figure II.6: Symbole et signaux du convertisseur

II.4.3.1 Convertisseur élévateur « BOOST »

Il s'agit d'un convertisseur DC-DC direct. La source d'entrée est un courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est un courant continu (condensateur en parallèle avec la charge résistive). On peut remplacer l'interrupteur K par un transistor car le courant reste positif et que les commutations doivent être activées (lors du blocage et de l'amorçage). Un hacheur parallèle, également appelé « boost » ou hacheur parallèle, utilise le schéma de principe de base suivant (Figure. II.7).

Elle est généralement utilisée pour transformer sa tension d'entrée en une tension de sortie plus élevée [12].

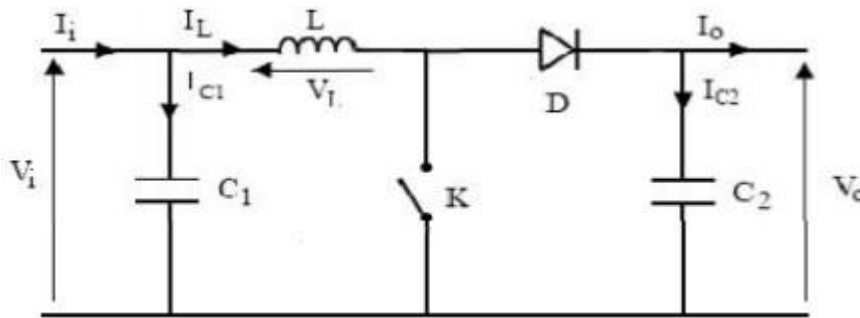


Figure II.7: Schéma de convertisseur élévateur « Boost » [20]

II.4.3.1.1 Principe de fonctionnement

Quand on ferme l'interrupteur « K », l'inductance se charge et le courant $i(t)$ provenant du module solaire augmente graduellement pendant la période $[0, dT_s]$. Lorsque le courant « K » s'ouvre, cela entraîne une surtension, ce qui justifie l'importance de la diode qui protège K en empêchant le retour du courant.

Le condensateur a pour fonction de réguler la tension de sortie. L'énergie produite par l'inductance L est ajoutée à celle de la source afin d'alimenter la charge via la diode D pendant une période de $[dT_s, Ts]$. Ainsi, le rapport de conversion M (d) est exprimé de la manière suivante : [12]

$$M(d) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{d'} = \frac{1}{1-d}$$

En indiquant que la tension aux bornes de l'inductance est négative, on obtient :

$$V_0(1-d) = V_i$$

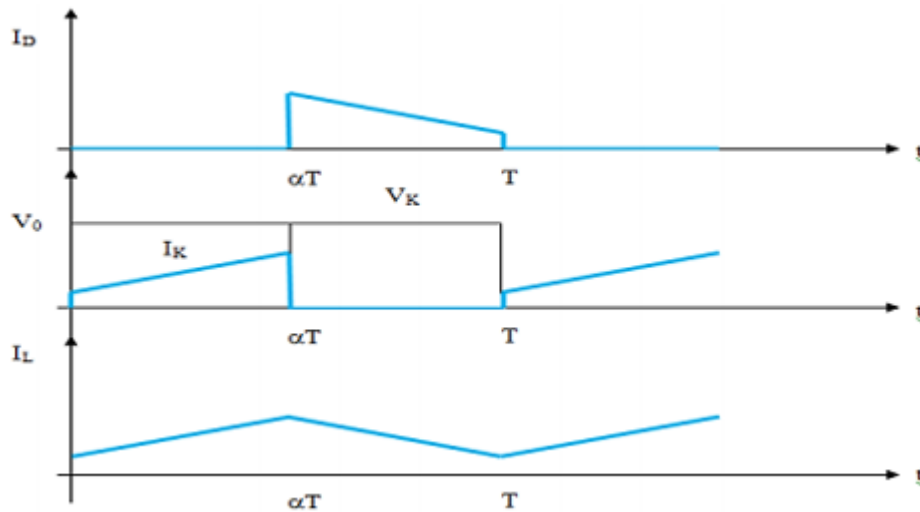


Figure II.8: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost. [21]

II.4.3.2 Convertisseur abaisseur « BUCK »

Il s'agit d'un convertisseur DC-DC direct. On retrouve fréquemment dans la littérature le convertisseur buck dévolteur, également appelé hacheur dévolteur ou hacheur série. La source d'entrée est une source de tension continue et la charge de sortie est une source de courant continu. Il est possible de remplacer l'interrupteur K (Figure .2.11) par un transistor car le courant reste positif et que les commutations doivent être activées (lors du blocage et de l'amorçage).

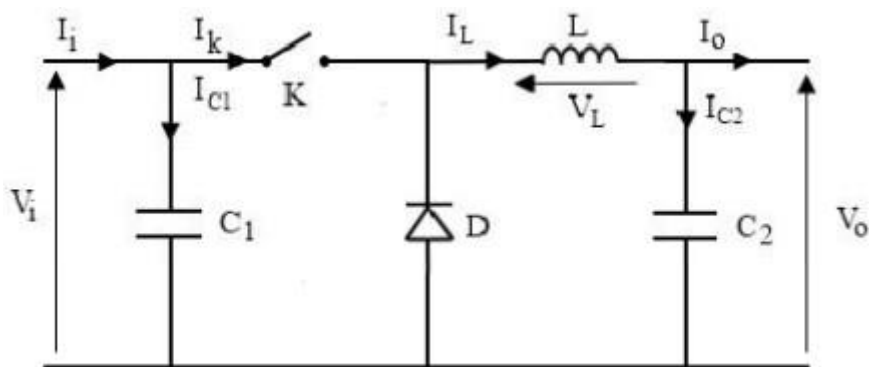


Figure II.11: Schéma électrique d'un convertisseur buck [22]

II.4.3.2.1 Principe de fonctionnement

Lorsque l'interrupteur reste ouvert pendant une période de temps αT_e , la tension appliquée aux bornes de la diode. On configure l'interrupteur en fonction de la fréquence de découpage. La source V_i est utilisée pour alimenter la charge et l'inductance. Alors que t_e [αT_e , T_e] est en cours, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie stockée dans l'inductance dirige le courant dans la diode de roue libre D. Ainsi, la tension à ses limites est nulle [12].

Les chronogrammes de la (Figure II.12) sont représentés dans le cas d'une conduction continue, c'est-à-dire que le courant ne passe jamais par zéro. La tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie.

$$V_0 = \alpha \cdot V_i$$

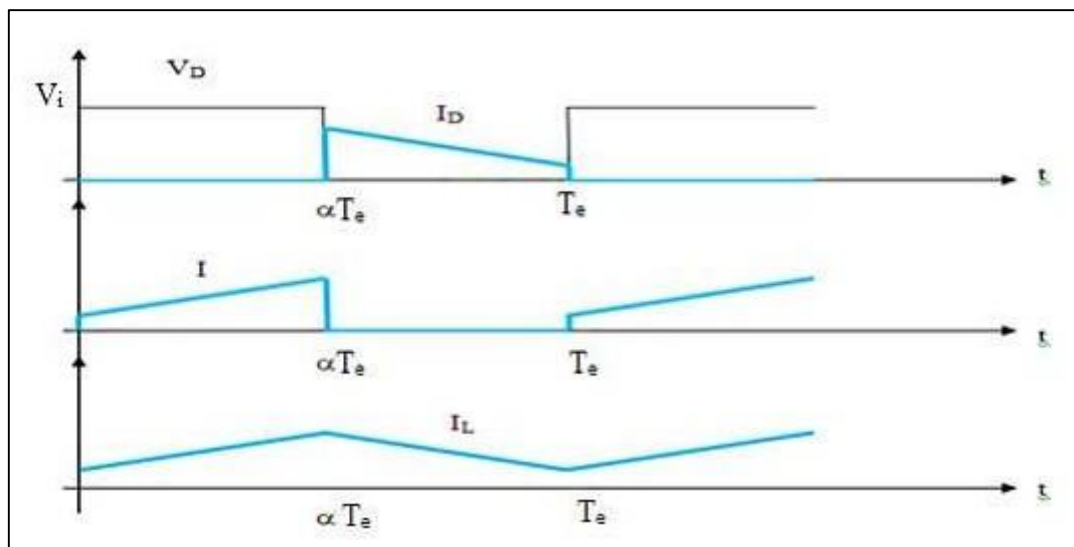


Figure II.12 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck [23]

II.4.3.2.2 Convertisseur inverseur « BUCK - BOOST »

La figure II.15 présente la troisième topologie de base de ce convertisseur. Dans ce dispositif, il est possible d'augmenter ou de réduire la tension en fonction du mode de commutation. Toutefois, la tension de sortie a un signe inverse de celui de l'entrée. Alors que le courant dans l'inductance augmente lorsque le transistor est en position (on), l'énergie est stockée. En revanche, lorsque le commutateur tourne en position (off), la tension à travers l'inductance est inversée et l'énergie stockée se déplace vers la charge via la diode. Dans cette situation, l'équation de la tension aux bornes de la charge qui décrit le fonctionnement en conduction continue est la suivante [12] :

$$V_s = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times V_i$$

Le circuit électrique de base du hacheur dévolteur-survolteur, et les caractéristiques du courant et de la tension de charge sont données par la (Figure II.15).

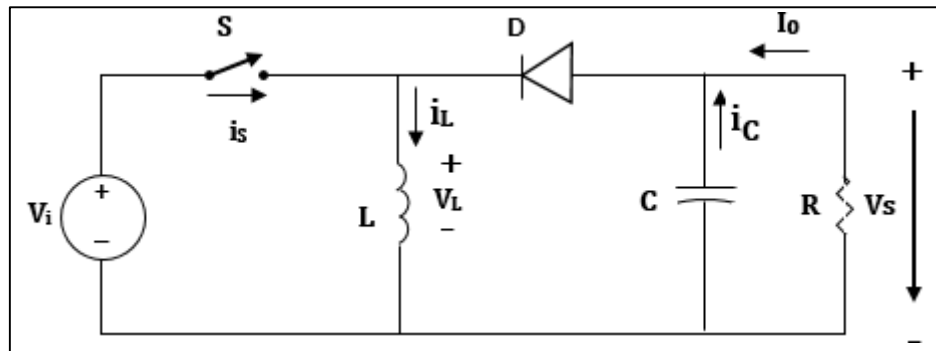


Figure II.15: schéma électrique d'un convertisseur buck-boost. [24]

II.5. Maximum Power Point tracking (MPPT):

II.5.1 Introduction :

L'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des systèmes photovoltaïques GPV est essentielle pour optimiser l'utilisation de différentes ressources des énergies renouvelables. Il est crucial de suivre le point de puissance maximale (MPPT) afin d'améliorer les performances des systèmes d'énergie photovoltaïque. Les panneaux solaires GPV ont la capacité de générer une puissance maximale à un point de fonctionnement spécifique nommé Maximum Power Point (MPP). [13]

II.5.2 Principe de fonctionnement

Le module photovoltaïque peut fonctionner à son point de puissance maximale grâce au suiveur de point de puissance maximum (MPPT). Le fonctionnement des commandes de (MPPT) consiste à chercher le point de puissance maximale (PPM) tout en garantissant une adaptation optimale entre le générateur et sa charge afin de transférer la puissance maximale. En général, il est équipé d'un convertisseur qui contrôle la puissance consommée sur le panneau solaire. Deux variables de contrôle sont habituellement utilisées pour contrôler le point de puissance maximale (MPP). Chaque mesure de tension ou de puissance est renouvelée dans une boucle afin de déterminer si le module solaire atteint son point de puissance maximale

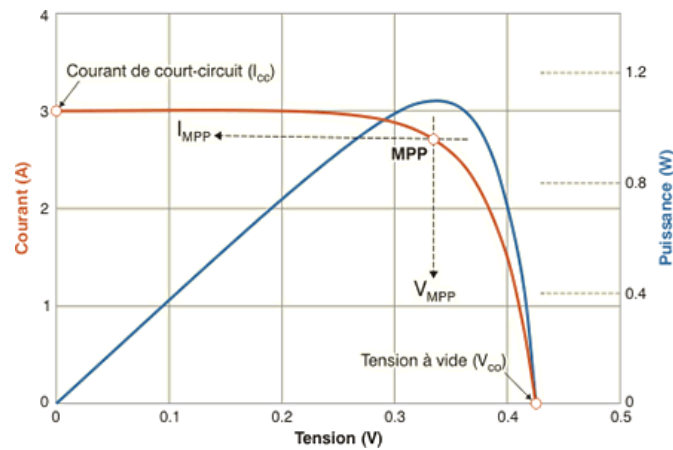


Figure II.16 : Courbe caractéristique de puissance d'un GPV. [25]

L'intégration d'un convertisseur statique DC / DC, comme le montre la (Figure II.16), entraîne une modification du point de fonctionnement du panneau grâce à une commande externe, dans le but de maximiser l'énergie transférée indéfiniment. La complexité de l'algorithme de recherche MPPT varie en fonction du type d'implantation sélectionné et des performances souhaitées. Toutefois, en fin de compte, tous les algorithmes efficaces doivent prendre en compte la fluctuation du rapport cyclique du convertisseur de puissance lié. [14]

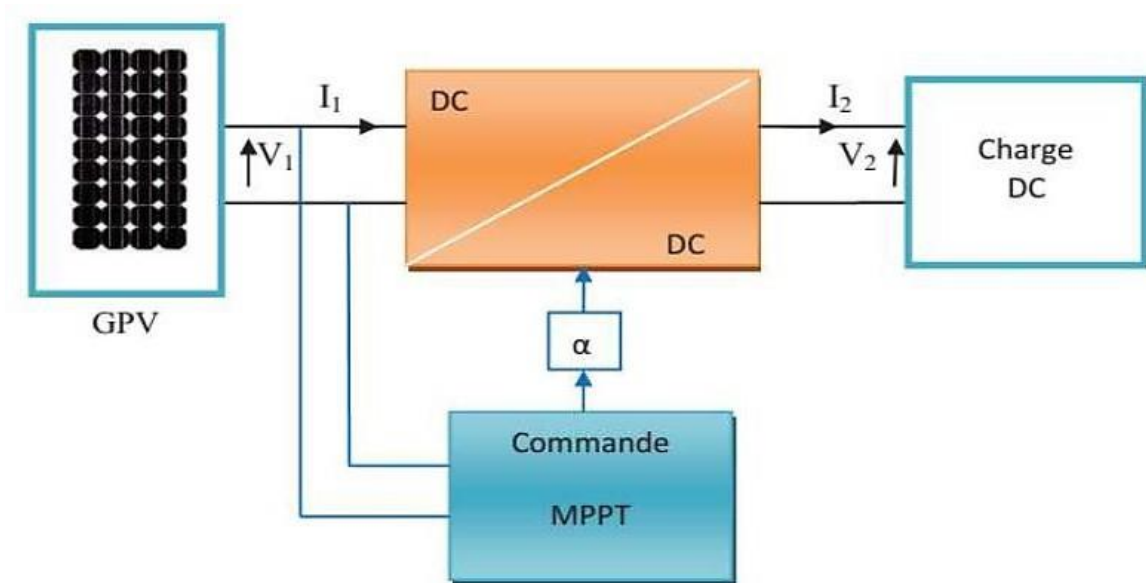


Figure II.17 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque [26]

II.5.3 Classification des MPPT :

On peut généraliser la catégorisation des commandes MPPT en fonction du type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Cependant, il est plus pertinent de les classer en fonction du type de recherche qu'elles effectuent et des paramètres d'entrée de la commande MPPT [13, 14].

II.5.3.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

II.5.3.1.1 Méthodes indirectes :

Dans les techniques indirectes, les données physiques du panneau photovoltaïque sont généralement regroupées dans des bases de données afin de produire les signaux de contrôle dans diverses conditions météorologiques (température, ensoleillement). La méthode de tension en circuit ouvert (V_{co}), la méthode du courant de court-circuit (I_{cc}) et la méthode MPPT basée sur l'intelligence artificielle (IA) sont des méthodes exclusivement utilisées pour les systèmes PV.

L'avantage de ces commandes est qu'elles sont faciles à exécuter. Elles sont principalement conçues pour des systèmes abordables et peu précis, qui doivent être utilisés dans des régions géographiques où les changements climatiques sont peu fréquents [13, 14].

II.5.3.1.2 Méthode directe :

En général, les signaux de commande sont générés en utilisant les valeurs instantanées de la tension ou du courant de sortie des panneaux solaires photovoltaïques, dont l'algorithme repose sur la variation de ces mesures. Ces algorithmes présentent l'avantage de ne pas exiger une connaissance préalable des caractéristiques des panneaux solaires photovoltaïques. Il peut ainsi faire face à des modifications imprévisibles du fonctionnement du processus. Ainsi, on augmente la tension du point de fonctionnement à des intervalles réguliers. La direction de recherche est conservée pour l'étape suivante si la puissance de sortie est plus élevée, sinon elle sera inversée.

II.5.3.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

II.5.3.2.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS

Cette classe de commandes MPPT effectue une quête du point de référence en fonction de l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Il est donc essentiel de mesurer le courant et la tension en entrée du convertisseur pour la commande [13]. De nombreux autres types de commandes MPPT reposent sur la régulation du courant du GPV, en supposant que celui-ci soit proportionnel à la puissance. Cela permet d'atteindre le courant optimal I_{opt} le plus proche possible. La mise en place de ce type de commande nécessitant un seul capteur est plus simple et a un coût abordable.

II.5.3.2.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Il y a des algorithmes dans la littérature qui se basent sur les paramètres de sortie du CS. Ce genre utilise en effet la tension et le courant de sortie du CS, ou même seulement l'un des deux. On utilise principalement les commandes MPPT qui se concentrent sur la maximisation du courant de sortie lorsque la charge est une batterie. Dans tous les systèmes où les paramètres de sortie sont utilisés, une estimation de P_{max} est effectuée en se basant sur les performances du convertisseur. Cette approximation est plus valide lorsque l'étage de conversion est bon. Cependant, tous les systèmes qui utilisent un seul capteur sont inexacts. La majorité de ces systèmes ont été initialement destinés à l'espace.

Tableau II.1: récapitulatif des méthodes utilisées

Méthode	type	complexité	Analogique/ numérique	Vitesse de convergence	Paramètres détectés	Efficacité
MPPT Tension de circuit ouvert	Indirect	Faible	Mixte	Moyenne	Tension	Faible (=86%)
Courant de court-circuit	Indirect	Moyenne	Mixte	Moyenne	Courant	Faible (=89%)
(P&O)	Direct	Moyenne	Numérique	Rapide	Tension & courant	Haute (=96%)
ESC	Direct	Moyenne	Numérique	Rapide	Tension & courant	Haute (=97%)
IncCond	Direct	Moyenne	Mixte	dépond	Tension & courant	Haute

II.6. LES ONDULEURS

II.6.1 Introduction

Un convertisseur statique, appelé onduleur, permet de transformer l'énergie électrique de la forme continue (DC) en forme alternative (AC). En réalité, cette transformation d'énergie est réalisée grâce à un système de contrôle (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace aux bornes du récepteur en utilisant une séquence de commande appropriée [15].

II.6.2 Principe de fonctionnement

- Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension courant/continu en tension courant/alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde.
- Les fonctions de l'onduleur sont de convertir et d'acheminer l'électricité produite avec un maximum d'efficacité et en toute sécurité vers le réseau électrique dans le cas du raccordé réseau ou à l'utilisateur dans le cas des sites isolés.
- Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion [15]. Onduleur Monophasé. Onduleur Triphasé.

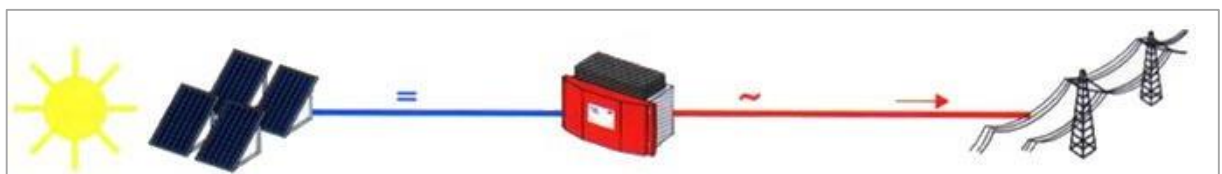


Figure II.18: principe d'un système photovoltaïque raccordé au réseau [27]

II.6.3 Les types d'onduleur

II.6.3.1 Le type d'onduleur monophasé

Qui fournit une tension alternative monophasée à sa sortie, est principalement utilisé dans les alimentations de secours. On distingue deux catégories d'onduleurs monophasés en fonction de leur configuration :

- 3/4 Onduleur demi-point monophasé.
- 3/4 Onduleur pont monophasé (Pont H) [15].

II.6.3.2 Le type d'onduleur triphasé

est souvent conseillé pour des applications nécessitant une grande puissance. La configuration de ce convertisseur consiste à combiner simultanément trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) pour produire trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre [15].

II.6.4 Différentes architectures des onduleurs :

Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée (par ex. 230V/400V - 50Hz) mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximum. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques :

L'onduleur central, les onduleurs strings et les onduleurs intégrés aux panneaux. Nous décrivons brièvement leur propriété ci-dessous. [15]

II.6.4.1 L'onduleur central

Dans le cas d'onduleur central, les divers panneaux solaires pour une grande installation (>10kW) sont montés en rangées pour former une chaîne (String en anglais), elle-même couplée en parallèle avec des diodes anti-retours à plusieurs entrées, (Figure.II.19). Le générateur PV de forte puissance ainsi structuré est relié du côté DC à un seul onduleur. Cet onduleur central présente une grande efficacité énergétique à des coûts réduits.

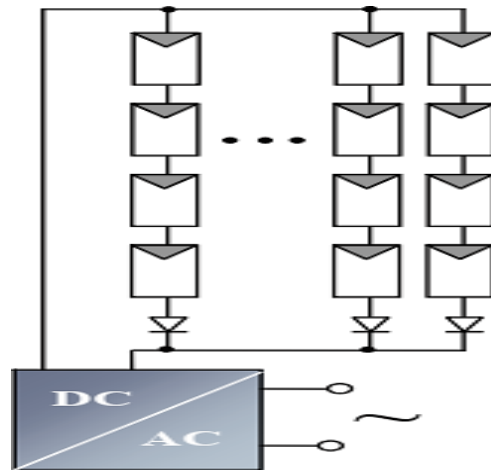


Figure II.19: Schémas de principe d'un onduleur central [28]

La fonction principale de cet appareil est de créer une tension alternative à partir d'une tension continue la plus compatible avec le réseau et d'examiner en permanence la présence ou non du réseau pour autoriser l'injection du courant.

L'onduleur central possède au moins un système de contrôle MPPT lui permettant de fonctionner à son PPM. Cela marche parfaitement tant que les panneaux sont identiques et qu'ils fonctionnent sous un ensoleillement homogène. Mais lorsque les caractéristiques électriques entre les panneaux diffèrent, dues à des ombrages, des salissures, au vieillissement ou au stress, la commande MPPT devient incertaine et le champ photovoltaïque ne produit pas autant qu'il le pourrait. En outre, la fiabilité de l'installation est limitée parce qu'elle dépend d'un seul onduleur. Ainsi, lorsqu'une panne de l'onduleur central se produit, elle entraîne l'arrêt complet de l'installation et donc de la production. [15]

II.6.4.2 Les onduleurs chaines (strings) :

De même que pour l'onduleur central, le champ PV est, ici aussi constitué de chaînes (strings). Chaque chaîne est toutefois reliée à un onduleur (Figure.II.20). Chaque chaîne peut ainsi fonctionner à son PPM. Cette technologie réduit considérablement le risque de problèmes d'adaptation ainsi que les pertes dues aux effets d'ombrage, tout en éliminant celles occasionnées par les diodes anti-retour et un câblage prolongé vers le générateur DC. Ces propriétés techniques avantageuses accroissent la fiabilité de l'installation ainsi que sa production énergétique. Mais il faut prendre en compte l'augmentation du nombre d'onduleurs de moyenne puissance disposant de rendement compris entre 92% et 96% nécessaires pour calculer le surcoût d'une telle architecture par rapport à la précédente. [15]

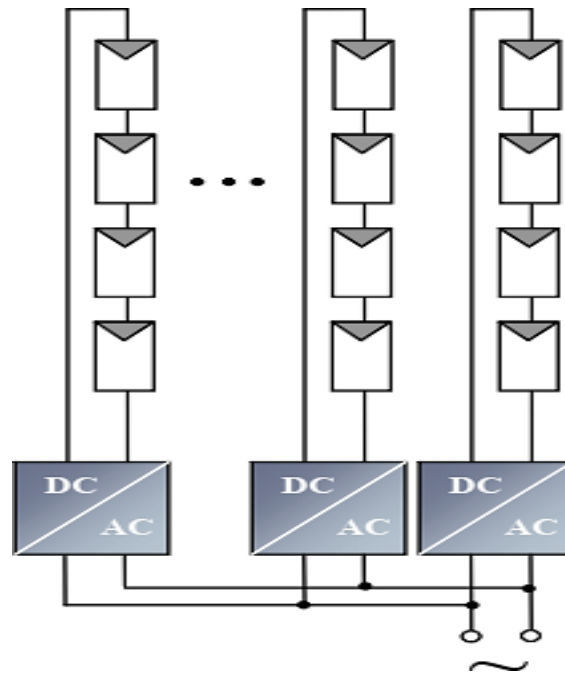


Figure II.20: Schémas de principe onduleur string

II.6.4.3 Les onduleurs intégrés aux panneaux PV

Chaque panneau solaire dispose de son propre onduleur intégré (Fig.II.21), ce qui théoriquement élimine les pertes liées aux variations de puissance entre les modules, quelles que soient leurs causes. Cependant, le rendement des onduleurs intégrés aux panneaux reste inférieur à celui des onduleurs string en raison des importantes différences de tension entre les panneaux solaires photovoltaïques (GPV) et la charge. De plus, l'intégration des onduleurs aux panneaux implique des coûts de câblage supplémentaires du côté alternatif, car chaque panneau de l'installation doit être connecté au réseau 230 V. Le besoin d'un nombre nettement plus élevé d'onduleurs intégrés aux panneaux dans cette configuration entraîne un travail de couplage significatif. Par conséquent, ce concept est généralement adapté aux installations solaires de petite puissance, allant de 50 W à 400 W [15]

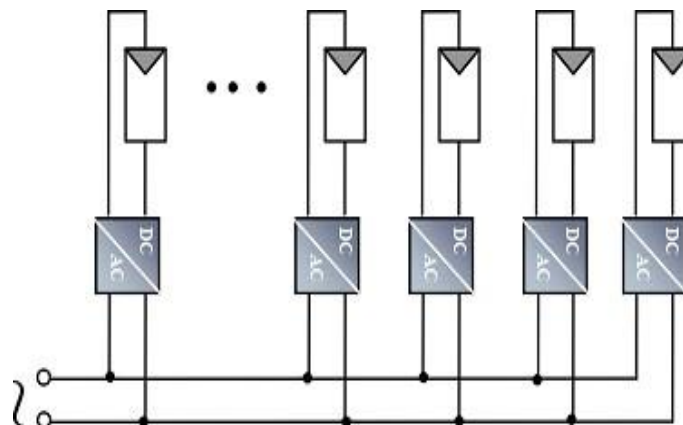


Figure II.21: Onduleur intégré [29]

Tableau II.2: Caractéristiques techniques des différents systèmes de configurations

	Onduleur central	Onduleur string	Onduleur intégré
Tension PV	340-800 V	150-800 V	17-90 V
Pertes DC (ohm)	≈ 1-5% en fonction de la tension et de la distance	≈ 1% en fonction de la tension et de la Distance	Négligeable
η conv	95-97%	92-96%	87-93%
Maintenance et réparation	Simple	Difficile (recherche disfonctionnement)	Difficile (recherche disfonctionnement)

II.7 BATTERIES

II.7.1 Introduction :

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). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques que les autres batteries, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes. [16]

II.7.2 Structure de la batterie :

Une batterie solaire comporte des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). L'ensemble est encapsulé dans un bac scellé ou muni d'un bouchon de remplissage et d'un évent. Les réactions d'oxydoréduction, qui gouvernent le fonctionnement d'une batterie sont réversibles, dans la mesure où celle-ci n'a pas été longtemps ni complètement déchargée, ni trop surchargée. Un fonctionnement prolongé dans l'un ou l'autre de ces états aboutirait à la destruction des capacités de la batterie. [17]

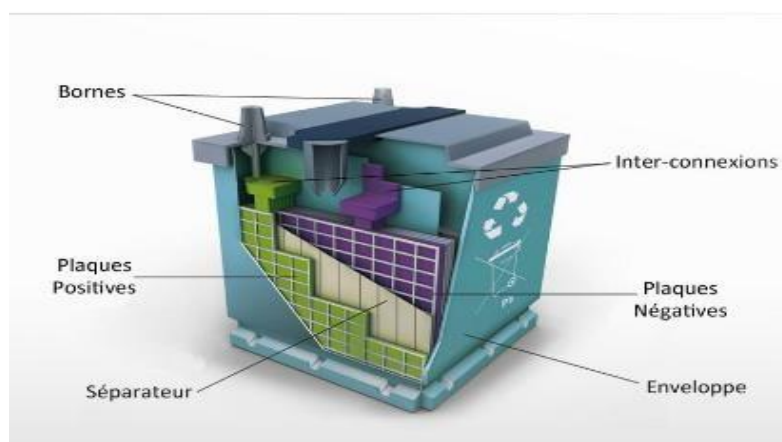


Figure II.22: Structure de la batterie [30].

II.7.3 Principe de fonctionnement

L'accumulateur est un dispositif de stockage électrochimique. À l'intérieur, des réactions chimiques permettent de convertir l'énergie électrique en un processus chimique, basé sur l'échange réversible des ions Li^+ entre les électrodes positive et négative à chaque cycle de charge ou de décharge. Ces deux électrodes sont reliées par un électrolyte, qui facilite le déplacement des ions d'une électrode à l'autre. Le choix de l'électrolyte est crucial pour assurer sa compatibilité avec les matériaux des électrodes. [16 ,17]

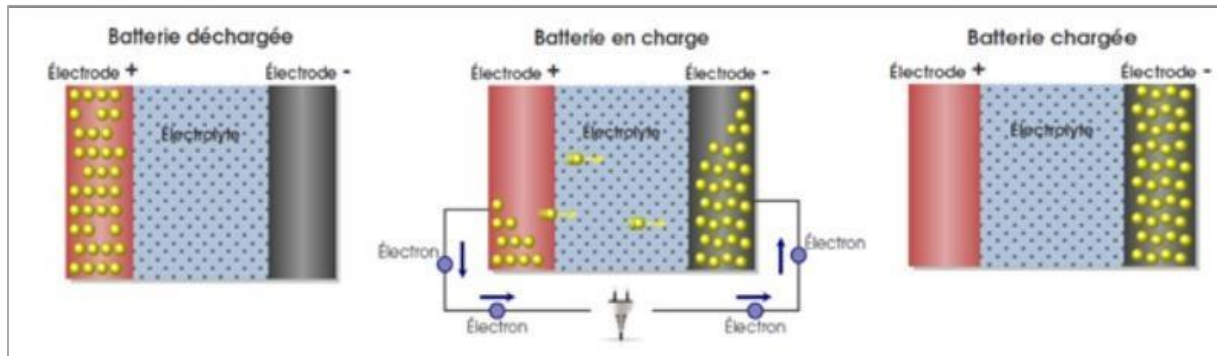


Figure II.23: Principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion [31]

II.7.4 Durée de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie solaire est évaluée en fonction du nombre de cycles de charge/décharge qu'elle peut supporter. Cependant, cette estimation est basée sur un niveau de décharge spécifique et des conditions atmosphériques données, d'où l'usage du terme "estimer". La technologie utilisée est le premier facteur déterminant de la durée de vie d'une batterie solaire. De plus, les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges, où le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge

À titre indicatif, voici les estimations de durée de vie pour différents types de batteries à décharge lente, avec des décharges d'environ 40%

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles
- Batterie solaire au lithium : jusqu'à 1500 cycles

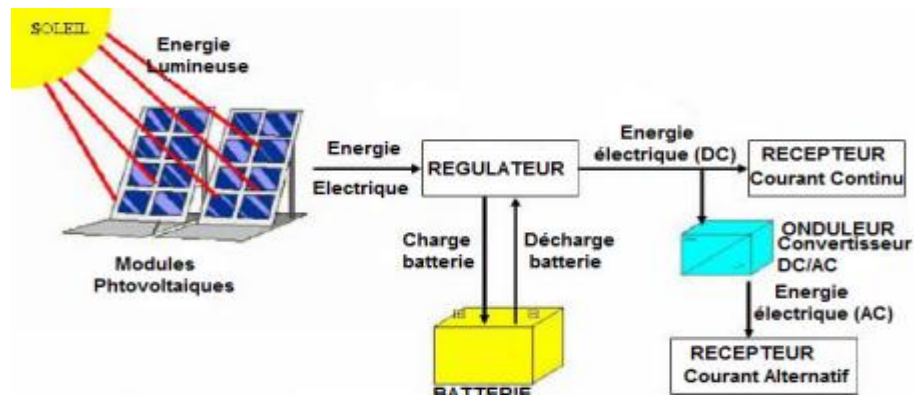


Figure II.24 Système photovoltaïque plus détaillé [32]

II.8 Classification des systèmes PV

On distingue deux types de systèmes PV :

- Systèmes PV autonomes
- Système à injection au réseau.

II.8.1 Systèmes autonomes

II.8.1.1 Définition

Un système PV est considéré comme autonome lorsque la charge qu'il alimente est passive, par exemple des lampes ou des moteurs. Ce type de système est entièrement indépendant d'autres sources d'énergie et fournit de l'électricité à l'utilisateur sans être connecté au réseau électrique. Dans la plupart des cas, un système autonome nécessitera des batteries ou d'autres moyens de stockage pour une utilisation pendant les périodes où l'énergie solaire n'est pas disponible, comme la nuit ou par temps nuageux. Les systèmes PV autonomes sont couramment utilisés pour alimenter des maisons dans des sites isolés, des îles ou des régions montagneuses, ainsi que pour des applications telles que la surveillance à distance et le pompage de l'eau dans certains cas. En général, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils représentent la source d'énergie électrique la plus économique. Actuellement, c'est dans les endroits isolés, loin des réseaux électriques et où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement moins de 10 kWc), que l'énergie photovoltaïque est la plus compétitive. [10]

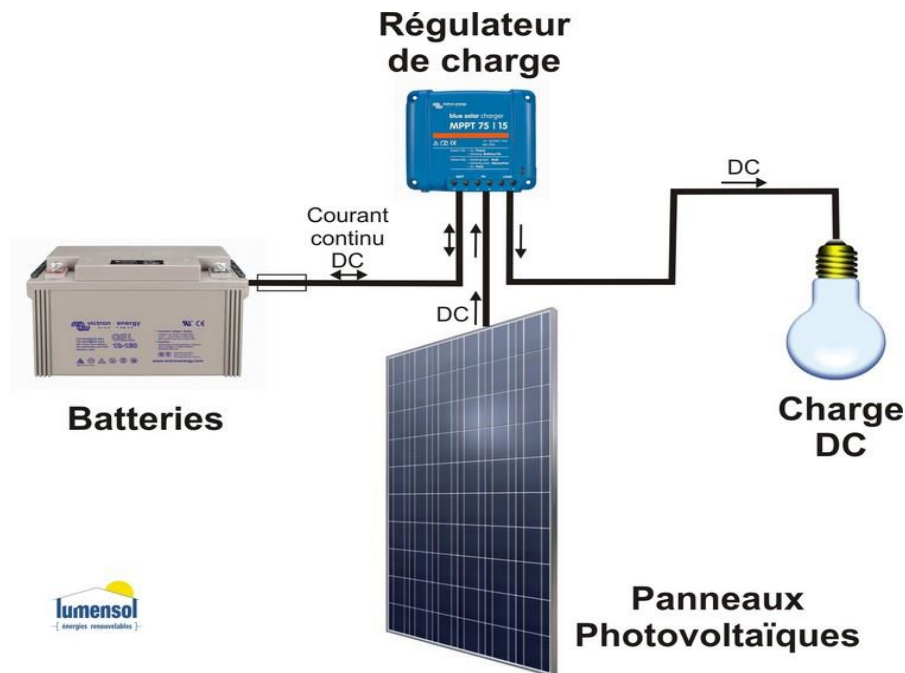


Figure II.25 Schéma d'un système autonome (hors-réseau). [33]

II.8.1.2 Types de systèmes PV autonomes

On distingue deux types :

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

II.8.1.3 Les systèmes au fil du soleil

Les systèmes au fil du soleil sont des systèmes qui fonctionnent sans stockage. Ils exploitent directement l'énergie solaire sans recourir à une source d'appoint. Ces systèmes sont classés en deux types en fonction de la nature de la charge à alimenter : les systèmes à courant continu et les systèmes à courant alternatif. L'application la plus répandue est le pompage photovoltaïque, qui se décline en deux types : les systèmes de pompage PV à courant continu et les systèmes à courant alternatif. Pour ces derniers, un onduleur doit être ajouté. La Fig. II.26 illustre un exemple d'un système de pompage PV dans lequel le dispositif de conversion d'énergie peut être, en fonction de la fonction requise, un convertisseur DC/DC, un convertisseur DC/AC ou les deux simultanément (ces dispositifs seront étudiés dans les chapitres suivants). Ces systèmes sont simples mais présentent l'inconvénient de couper l'alimentation en l'absence de soleil. En général, ces systèmes utilisent un autre moyen de stockage tel que des réservoirs d'eau pour le pompage PV. [10]

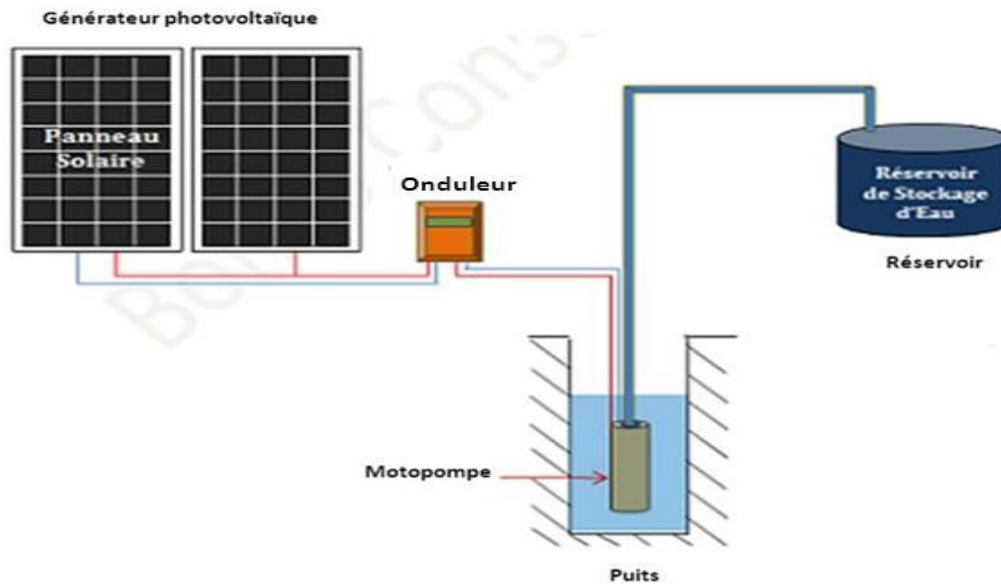


Figure II.26 Système de Pompage PV [34]

II.8.1.4 Les systèmes avec stockage

Les systèmes avec stockage sont équipés de moyens de stockage d'énergie. Ces systèmes sont conçus pour fournir de l'électricité aux charges pendant les périodes de faible ensoleillement (par exemple lorsque des nuages passent) ou en l'absence totale de soleil (pendant la nuit). Le système de stockage permet d'accumuler l'énergie excédentaire générée par les panneaux solaires pendant les périodes ensoleillées et de la restituer pendant les périodes où l'énergie solaire est insuffisante. Un exemple courant est l'alimentation électrique des maisons dans des sites isolés.[10]

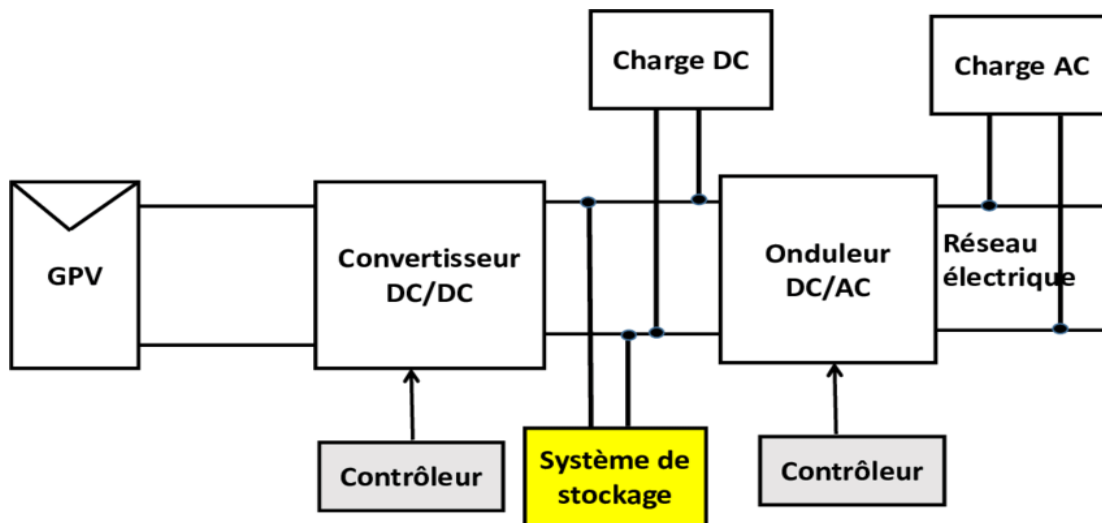


Figure II.27 : le système avec stockage [35]

II.9 Systèmes PV à injection aux réseaux

II.9.1 Définition d'un système PV raccordé au réseau

Un système PV raccordé au réseau est un système où la charge est en partie ou totalement le réseau électrique. Cela signifie que le générateur PV injecte sa puissance dans le réseau électrique via un onduleur (Figure II.29). [18]

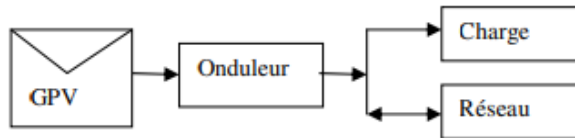


Figure II.28 Injection partielle

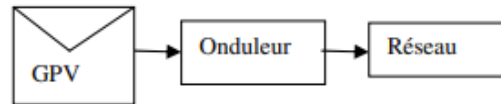


Figure II.29 Injection totale

Remarque

Pour le premier cas, où le système PV est raccordé au réseau et où la vente d'énergie renouvelable est encouragée par les lois du pays, il est possible d'avoir un système de stockage.

Quant au deuxième cas, le stockage est utilisé si l'objectif est de réduire la consommation d'énergie pendant les heures de pointe, notamment la nuit.

II.9.2 Classes des systèmes raccordés aux réseaux

On a deux classes de systèmes raccordés aux réseaux :

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

II.9.3 Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque)

Les systèmes à grandes puissances sont des installations PV situées dans des endroits où l'alimentation électrique est centralisée. Ils servent à renforcer le réseau conventionnel pendant les périodes de pointe de puissance. Ces systèmes exigent des superficies considérables, environ 2 hectares par mégawatt-crête (MWc).

II.9.4 Systèmes à petite puissance ou systèmes décentralisés

En termes de quantité unitaire, les systèmes décentralisés de petite puissance (inférieurs à 100 kWc) sont les plus répandus, représentant environ 80 % des systèmes connectés au réseau dans le monde, la plupart étant installés sur des habitations individuelles.

Selon la manière dont l'électricité est injectée dans le réseau, on distingue deux types de systèmes :

II.9.4 Systèmes à Injection du surplus :

Dans cette configuration, le consommateur utilise d'abord l'électricité fournie par le générateur PV pour répondre à ses besoins en énergie. En cas de surplus de production, cette énergie excédentaire est injectée dans le réseau. L'installation du client producteur, avec achat des excédents de production, doit être équipée de deux compteurs. Le premier mesure l'énergie prélevée sur le réseau lorsque la consommation dépasse la production (compteur de soutirage), tandis que le second mesure l'énergie injectée dans le réseau (compteur d'injection). À tout moment, un seul des compteurs mesure l'électricité

II.9.5 Systèmes à injection de la totalité :

Dans ce scénario, toute l'électricité produite par la station solaire est injectée dans le réseau. Les besoins en électricité de l'utilisateur sont entièrement satisfaits par le réseau électrique. Cette configuration est très répandue dans les pays qui encouragent l'utilisation des énergies renouvelables. Dans certains de ces pays, le tarif d'achat de l'électricité produite à partir de sources renouvelables peut être jusqu'à cinq fois plus élevé que celui de l'électricité provenant de sources fossiles.

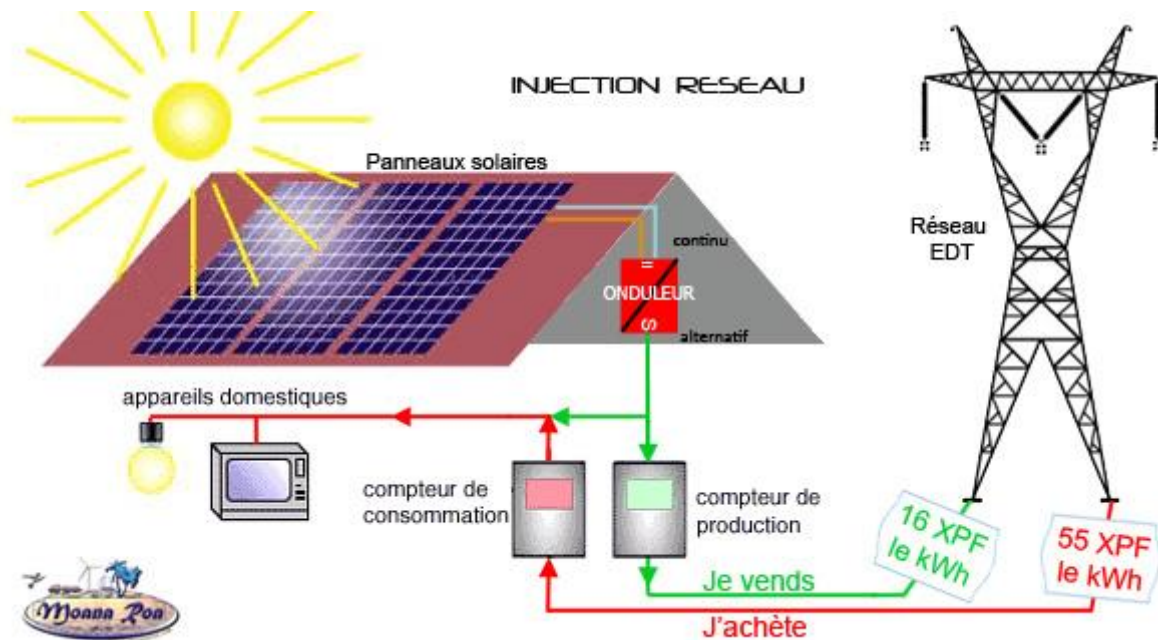


Figure II.30 Systèmes à injection de la totalité [36]

II. 10 AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

II.10.1 AVANTAGES :

Grâce à ses nombreux avantages environnementaux et économiques, ainsi qu'à sa fiabilité avérée, le photovoltaïque s'affirme comme une source majeure d'électricité.

- Son carburant est gratuit.
- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions No cives, ni gaz polluants.
- Les systèmes photovoltaïques sont très sûrs et d'une grande fiabilité.
- Les modules photovoltaïques sont recyclables et les matériaux utilisés pour leur production (silicium, verre, aluminium, etc.)
- L'énergie solaire photovoltaïque exige peu de maintenance.
- L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.
- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments. [19]

II.10.2 LES INCONVENIENTS

Cependant, le système photovoltaïque comporte également des inconvénient

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haut technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [19]

II. 11 Conclusion

La technologie de conversion photovoltaïque connaît actuellement une évolution significative, en raison de l'intérêt croissant pour l'énergie solaire photovoltaïque. Dans ce chapitre, nous avons abordé divers concepts liés à l'énergie solaire, ainsi que la composition et le fonctionnement des systèmes photovoltaïques. Nous avons également examiné en détail le principe de la conversion photovoltaïque, les technologies impliquées et nous avons présenté les caractéristiques électriques des convertisseurs Statiques (convertisseur DC-DC). Nous avons montré théoriquement que la valeur moyenne de la tension de sortie peut être ajustée en jouant sur la valeur du rapport cyclique.

Pour produire une puissance maximale et obtenir une efficacité maximale, l'ensemble du panneau photovoltaïque doit fonctionner à ce point particulier. Le point de puissance maximum du panneau PV continue de changer en fonction des conditions environnementales changeantes telles que l'irradiance solaire et la température de la cellule. Ainsi, pour extraire la puissance maximale disponible d'un module PV,

III.1 Introduction

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revêt une importance cruciale dans la transition vers une énergie plus durable. Il consiste à calculer précisément le nombre de panneaux solaires nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques d'un lieu donné, en utilisant les données d'ensoleillement locales. Dans ce chapitre, nous explorerons en détail la méthodologie et les étapes nécessaires pour dimensionner un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.

À titre d'exemple concret, nous prendrons en considération la faculté de technologie de l'université Ammar Telidji, située à Laghouat. À travers cette étude de cas, nous appliquerons des principes et des lois fondamentales pour effectuer les calculs essentiels à la conception de l'installation solaire. De la détermination du nombre optimal de panneaux à l'établissement du devis quantitatif du projet, nous passerons en revue chaque phase du processus.

Enfin, nous aborderons les étapes cruciales de la préparation du système en vue de la remise du projet. Ce travail offre ainsi un aperçu complet du processus de dimensionnement d'un système photovoltaïque, tout en mettant en lumière son application pratique dans des contextes réels de développement durable.

III.2 Les automobiles électriques

III.2.1. Définition

Une voiture électrique est un véhicule propulsé exclusivement par une ou plusieurs batteries alimentant des moteurs électriques. Contrairement aux voitures à essence ou diesel, qui utilisent un moteur à combustion interne pour générer de l'énergie, les véhicules électriques n'émettent ni gaz d'échappement ni bruit de moteur, les rendant ainsi plus silencieux et écologiques.

Les véhicules électriques se rechargent en se branchant à une prise de courant externe, que ce soit à domicile ou au travail. Leur autonomie varie en fonction des modèles, allant de 100 km à plus de 500 km avant de nécessiter une recharge.

La popularité des véhicules électriques augmente grâce à leur faible empreinte environnementale et à des coûts d'exploitation inférieurs comparativement aux véhicules à essence ou diesel. Cependant, ils restent plus chers à l'achat et nécessitent un accès pratique aux stations de recharge pour une utilisation optimale.

III.2.2 La recharge :

La recharge d'une voiture électrique commence par le branchement à une prise, un boîtier mural ou une borne de recharge, via des câbles équipés de connecteurs spécifiques. Pour une recharge à domicile, au travail ou sur une petite borne publique, on utilise généralement un connecteur de "Type 2". Pour une borne rapide, les standards disponibles sont le "Combo CCS" européen et le "Chademo" japonais. Les connecteurs étant conçus pour ne pas pouvoir être insérés dans la mauvaise prise, il n'y a aucun risque d'erreur

Une fois connecté, le courant alternatif (AC) du réseau de distribution passe par les câbles jusqu'à la voiture. L'ordinateur de bord de la voiture vérifie la qualité du courant, la configuration et la phase de masse pour assurer une recharge sécurisée. Si tout est en ordre, l'énergie est transférée via le convertisseur, ou "chargeur de voiture", pour débiter la recharge

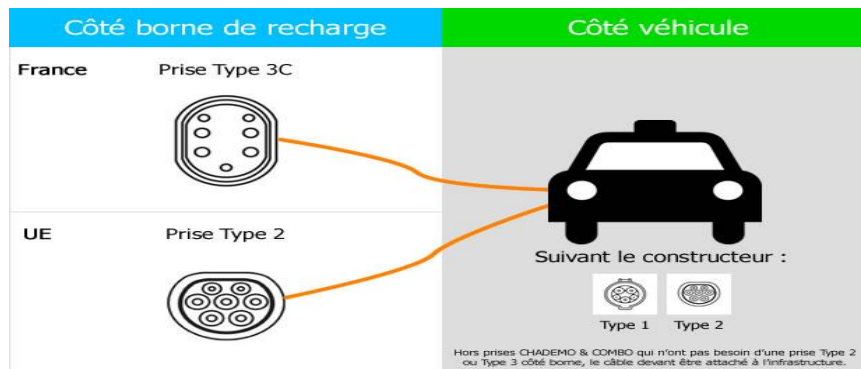


Figure III.1 : les type de Connecteur

III.2.3 batteries

Dans une batterie de voiture électrique, le courant est distribué aux cellules qui la composent, sous forme de petites piles ou poches assemblées. La capacité d'une batterie, mesurée en kWh, indique l'énergie stockée. La capacité utile est l'énergie réellement disponible pour le véhicule, tandis que la différence avec la capacité nominale constitue une marge de sécurité

Par exemple, une batterie de 50 kWh chargée à 10 kW prend environ 5 heures pour se charger, mais au-delà de 80% de charge, la vitesse de charge diminue automatiquement pour éviter les surcharges. Le courant stocké est ensuite dirigé vers un ou plusieurs moteurs électriques. Le rotor du moteur tourne sous l'effet du champ magnétique créé dans le stator, et le mouvement est généralement transmis aux roues via une boîte de vitesses à rapport fixe



Figure III.2 : GPL 12520 12V 52Ah.

III.3 étapes de dimensionnement

- Connaître le site d'installation et ses caractéristiques
- Détermination du nombre d'onduleur et sa puissance correspondante
- Détermination du nombre des panneaux

La section des câbles

- La mise à la terre
- Les éléments de protection électrique Fusible, sectionneur DC, le parafoudre DC, le disjoncteur
- La structure et l'endroit du champ PV
- La structure [5]

III.4 Traitement du projet

III.4.1. Problématique

On va faire un dimensionnement d'une ombrière solaire connectée au réseau électrique au sein de la faculté de technologie de l'université Ammar Telidji de Laghouat.

III.4.2. Choix du panneaux

On a choisie comme choix



Figure III.3 : panneau yingli 340 W

Tableau III.1 : Caractéristiques du panneau 340W

YLM 72 CELL

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)			YLM72-36b (xxx=P _{max})					
Module type			350	345	340	335	330	325
Power output	P _{max}	W						
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0/+5					
Module efficiency	η _m	%	18.0	17.7	17.5	17.2	17.0	16.7
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	38.6	38.3	37.9	37.6	37.2	36.9
Current at P _{max}	I _{mp}	A	9.07	9.02	8.97	8.91	8.86	8.81
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	48.0	47.7	47.3	46.9	46.6	46.2
Short-circuit current	I _{sc}	A	9.41	9.38	9.35	9.32	9.29	9.27

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.0% at 200W/m² according to EN 60904-1.

GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1960mm / 992mm / 40mm
Weight	22kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	24
Packaging box dimensions (L / W / H)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Box weight	616kg

III.4.2.1 Détermination du nombre des panneaux

Nous disposons de deux parking d'une capacité de 94 voiture d'une superficie de 1692 m² notre parking est devise sur 94 structure chaque structure comporte 9 panneaux avec une superficie de 18 m²

$$\text{nombre de panneaux dans chaque structure} = \frac{\text{superficie de structure}}{\text{Superficie de panneaux}}$$

$$= \frac{18 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} = 9 \text{ panneaux}$$

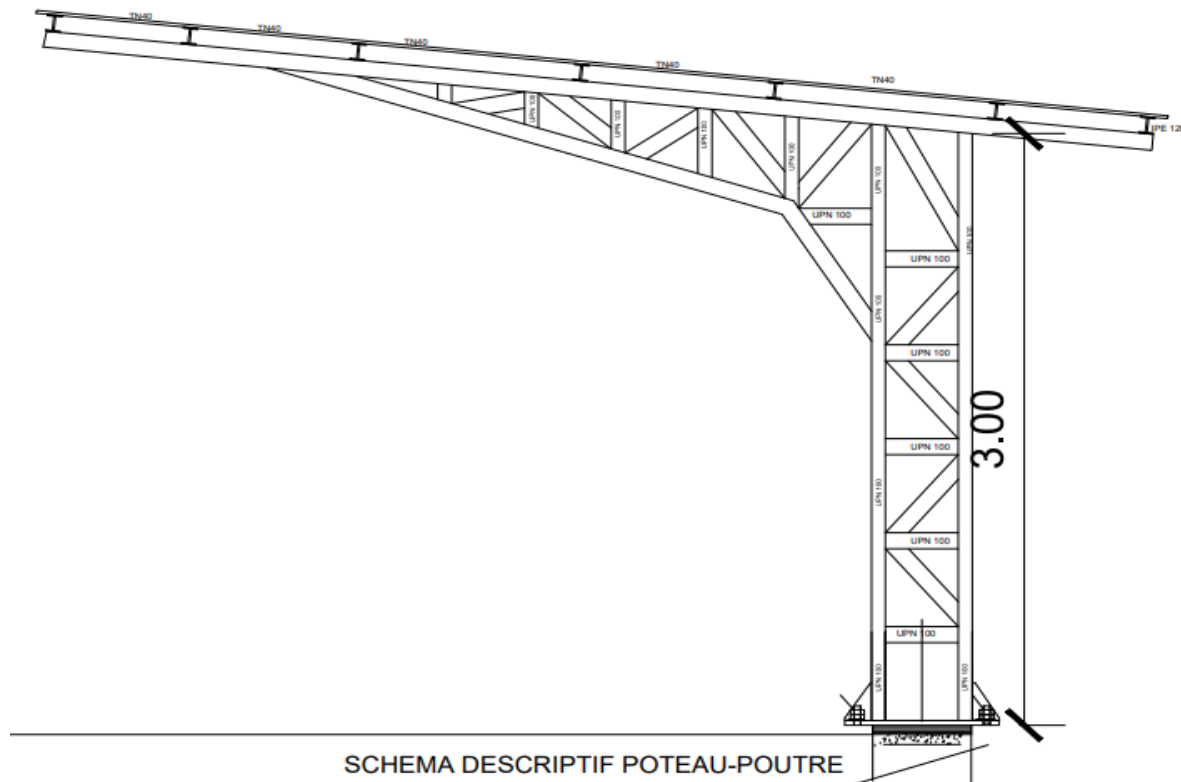


Figure III.4 : schéma de structure

$$\begin{aligned} \text{Nombre de panneaux} &= \text{nombre des structure} \times \text{nombre de panneaux dans chaque structure} \\ &= 94 \times 9 = 846 \text{ panneaux} \end{aligned}$$

Ce parking fournir une puissance total de

$$\begin{aligned} P_{\text{totale}} &= \text{nombre de panneaux} \times \text{puissance d'un seul panneau} \\ &= 846 \times 340 = 287640 \text{ W} \end{aligned}$$

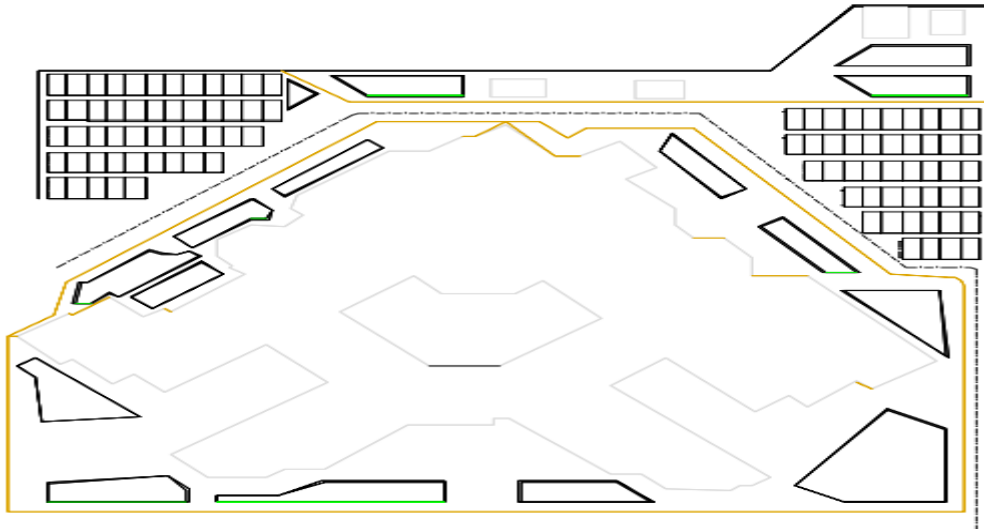


Figure III.5 : plan de faculté en 2D

III.4.3. Choix d'onduleur

On choisit trois (03) onduleurs dont puissance de sortie (AC) est supérieure à 287640 Wc qui sont des onduleurs de 100000 W (De la fiche technique de l'onduleur Annexe)



Figure III.6 : onduleur SMA 100 KW

Tableau III.2 : plaque signalétique d'onduleur

Caractéristiques techniques	Sunny Highpower 100-21	Sunny Highpower 150-21
Entrée (DC)		
Puissance max. du générateur photovoltaïque	200 kWc	300 kWc
Tension d'entrée max.	1100 V	1500 V
Plage de tension MPP / Tension d'entrée assignée	590 V à 1000 V / 590 V	880 V à 1450 V / 880 V
Tension DC min. / tension de démarrage	570 V / 625 V	855 V / 940 V
Courant d'entrée/de court-circuit max.	180 A / 325 A	
Nombre de MPP trackers indépendants	1	
Nombre d'entrées	1 ou 2 (en option) pour boîtiers externes de raccordement pour le générateur photovoltaïque	
Sortie (AC)		
Puissance assignée à tension nominale	100 kW	150 kW
Puissance apparente AC max.	100 kVA	150 kVA
Tension nominale AC / Plage de tension AC	400 V / 177 V à 477 V	600 V / 480 V à 690 V
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz / 44 Hz à 55 Hz 60 Hz / 54 Hz à 66 Hz	
Fréquence de réseau assignée	50 Hz	
Courant de sortie maximal	151 A	
Facteur de puissance à la puissance assignée / Facteur de déphasage réglable	1 / 0 inductif à 0 capacitif	
Taux de distorsion harmonique (THD)	< 0,5 %	
Phases d'injection / Raccordement AC	3 / 3-PE	
Rendement		
Rendement max. / européen Rendement	98,8 % / 98,5 %	99,1 % / 98,8 %

$$\text{Taille maximale de la chaîne} = \frac{\text{tension Dc maximum (onduleur)}}{\text{tension circuit ouvert (panneau)}} = \frac{1000}{47,3} = 21 \text{ panneaux}$$

$$\text{Taille minimale de la chaîne} = \frac{\text{tension de démarrage (onduleur)}}{V_{\text{max}} (\text{panneau})} = \frac{590}{37,9} = 15 \text{ panneaux}$$

Alors on a prend $N_s=18$ panneaux en série dans chaque string (chaque 2 structure compose un string)

$$N_{\text{ptotal}} = \frac{\text{nombre totale de panneaux}}{N_s} = \frac{846}{18} = 47 \text{ string}$$

III.4.3.1 Variation du tension en fonction de température

III.4.3.1.1 Condition stc

$$V_{\text{npp}} = V_{\text{max}} \times N_s = 37,9 \times 18 = 682,2 \text{ V}$$

$$V_{\text{oc}} = V_{\text{ocp}} \times N_s = 47,3 \times 18 = 851,4 \text{ V}$$

$$I_{\text{mpp}} = I_{\text{max}} \times N_p = 8,97 \times 16 = 143,52 \text{ A}$$

$$I_{\text{cc}} = I_{\text{ccp}} \times N_p = 9,35 \times 16 = 149,6 \text{ A}$$

$$P_{\text{max}} = V_{\text{npp}} \times I_{\text{mpp}} = 682,2 \times 143,52 = 97909,344 \text{ W}$$

} stc

$$V_{\text{oc}} (G,T) = V_{\text{ocstc}} \times (1 + \alpha(T - 25))$$

$$P_{\text{mpp}} (G,T) = \frac{G}{1000} \times P_{\text{mppstc}} \times (1 + \beta \Delta T)$$

$$I_{\text{cc}} (G,T) = \frac{G}{1000} \times I_{\text{ccstc}} \times (1 + \gamma \Delta T)$$

$$\alpha = -0,32 \text{ \%}^\circ\text{C}$$

$$\beta = -0,42 \text{ \%}^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 0,05 \text{ \%}/^\circ\text{C}$$

III.4.3.1.2 T=-2

$$V_{OC}(T, G) = 851.4(1 + (-0.0032 \times (-27)))$$

$$V_{OC}(T, G) = 924.96 \text{ V}$$

$$I_{CC}(T, G) = \frac{1000}{1000} \times 149.6(1 + (0.0005 \times (-27)))$$

$$I_{CC}(T, G) = 147.58 \text{ A}$$

$$P_{mpp}(T, G) = \frac{1000}{1000} \times 97909.34(1 + (-0.0041 \times (-27)))$$

$$P_{mpp}(T, G) = 108747.9 \text{ W}$$

III.4.3.1.3 T=50

$$V_{OC}(T, G) = 851.4(1 + (-0.0032 \times 25))$$

$$V_{OC}(T, G) = 783.29 \text{ V}$$

$$I_{CC}(T, G) = \frac{1000}{1000} \times 149.6(1 + (0.0005 \times 25))$$

$$I_{CC}(T, G) = 151.47 \text{ A}$$

$$P_{mpp}(T, G) = \frac{1000}{1000} \times 97909.34(1 + (-0.0042 \times 25))$$

$$P_{mpp}(T, G) = 87628.86 \text{ W}$$

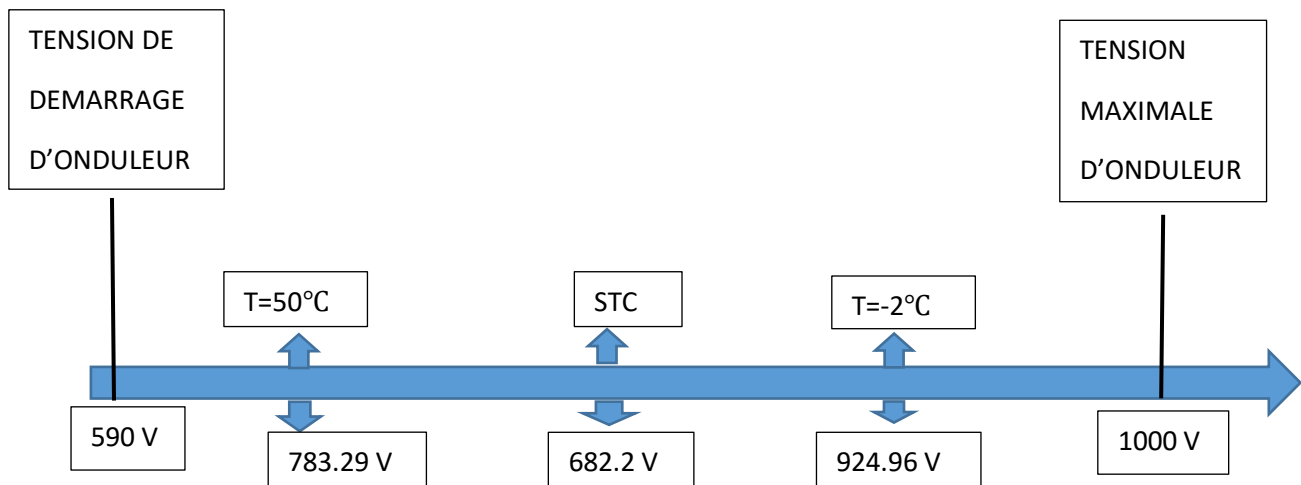


Figure III.7 : plage de tension d'onduleur

III.4.4 Compteur (Smart meeter)

Un compteur bidirectionnel permet de mesurer à la fois l'énergie prélevée du réseau électrique et celle injectée dans le réseau par un système photovoltaïque. Dans notre installation connectée au réseau public, nous n'avons pas besoin de batteries. Ainsi, en cas de conditions météorologiques défavorables pour notre système photovoltaïque (comme faible ensoleillement ou température élevée), notre consommation est complétée par l'énergie provenant du réseau électrique, et la différence est calculée pour la facturation. Pour ce faire, nous utilisons un compteur distinct pour mesurer la production et la consommation d'énergie. [20]



Figure III.8: compteur intelligent triphasé

III.4.5 éléments de protection électrique

III.4.5.1 Fusible pour les branches

La tension de fonctionnement d'un fusible est $1,15 \times V_{co} \times \text{modules raccordés en série}$
 $= 1,15 \times 47,3 \times 18 \approx 1000 \text{ V}$ (*tension system*)

Le calibre des fusibles $1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$

$$1,5 \times 9,35 \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times 9,35$$

Nous choisirons un fusible de type gG de calibre **15 A** de taille et de tension maximale **1000 VCC**.



Figure III.9 : Fusibles avec les portes cote positive

Dans chaque boîte de jonction nous avons 16 branches (8 branches positive 8 branches négative) en entrée, il nous faut 16 fusibles de 15 A avec 2 portes fusible [5], et nous avons deux branches dans chaque boîte de jonction dans la sortie de 125 A

III.4.5.2 Sectionneur DC

Sectionneur (8 string en parallèle dans chaque boîte de jonction)

Nous choisirons un interrupteur sectionneur [Socomec] de type 26PV401 constitué de 2 pôles ; d'intensité nominale **160 A** ; et de tension maximale **1000 Vdc**. [5]



Figure III. 10 : Interrupteur sectionneur DC

III.4.5.3 Parafoudres

Le parafoudre DC choisi est de type DS50PV-1000/SG de Courant maximal : 40 kA Tension maximale 1000 Vdc [5]

Le parafoudre AC est de type SPD-ACMZ-TY4V de courant maximal UCPV= 400 V [5]



Figure III.11: protection contre les surtensions (parafoudre)

III.4.5.4 Disjoncteur différentiel AC 6000/400V

Nombre de pôles 4

Calibre 151 A

Tension : 400 VAC



Figure III.12: Disjoncteur AC 160A

III.4.6 Devis quantitatif & estimatif

Tableau III.3 : Bilan Qualitatif et quantitatif de génie civil

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix d'unité	Prix total
1	Excavation sur tout type de terrain pour fondations isolées de 0,00 à 1,40 m (À l'aide de machines spéciales)	m ³	35,4000	800,00	283200,00
2	Béton du Nettoyage e 150 kg/m ³ et du ciment 325 CPA sous les soubassements et poutres.	m ³	16,836	6000,00	101016,00
3	Béton armé pour les bases et avant les colonnes et poutres, à raison de 350 kg/m ³ , ciment CRS 350.	m ³	64,253	35000,00	2248855,00
4	Remblayage de la fondation avec de la terre conforme aux instructions et spécifications de l'inspecteur technique. Compactage du sol + compactage en couches successives + pulvérisation d'eau	m ³	272,911	600,00	163746,60
5	Fourniture et installation de Tige Dancrage M18/700mm avec toutes les exigences pour une bonne mise en œuvre	m	650,000	1200,00	780000,00
6	Fourniture et installation d'une structure métallique avec peinture antirouille et deux couches de peinture à l'huile, ainsi que toutes les exigences pour une bonne réalisation et une mise en œuvre selon les plans d'ingénierie.	kg	45152,62	450,00	20318679,00
7	Fourniture et pose du couvercle de la structure métallique avec (e=7/10-TN40) pré-peint selon les dessins d'ingénierie. Choix de la couleur et du type selon l'observateur technique.	m ²	1710,00	9500,00	16245000,00
8	Fournir et poser le revêtement de chant (tole prelaque -e=7/10di 20*42cm	m ²	285,000	5000,00	1425000,00
9	Fournir et poser le revêtement de chant (tole prelaque -e=7/10di 20*20cm	m ²	220	5000,00	1100000,00
TOTAL EN HT (hors taxe)					42665496.60
TVA (19%)					8106444.35
TOTAL EN TTC (Tous Taxe compris)					50771940.95

Tableau III.4 : Bilan Qualitatif et quantitatif cote électrique

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix d'unité	Prix total
1	F/P panneau photovoltaïque 340 W monocristallin y compri connecteur MC4	U	846	22000,00	18612000,00
2	F/P cable AC de 70 mm ² (deux couleurs)	m	600	1200,00	72000,00
3	F/P Onduleur solaire connecté au réseau 100000 (W) avec Smart meeter et toutes sujétions de bonne exécution	U	3	1075000,00	3225000,00
4	F/P cable solaire de 6 mm ² (deux couleurs différent RN) y compri connecteur MC4 et toutes sujétions de bonne exécution	m	2000	100,00	200000,00
5	F/P cable DC de 70 mm ² (deux couleurs)	m	250	150,00	37500,00
6	Boite jonction Dc 1 Fusible et porte fusible 1 Parafoudre 1 Interrupteur sectionneur		6	65000,00	390000,00
7	F/P coffret AC le coffret doit être muni 1 Parafoudre 1 disjoncteur 1 jeu de barre	U	4	130000,00	520000,00
8	F/P cable mise à la terre de 25 mm ²	m	100	100,00	10000,00
9	F/P cable mise à la terre de 10 mm ²	m	300	80,00	24000,00
10	Charegeur automobile		6	32500	195000,00
				TOTAL EN HT (hors taxe)	23285500.00
				TVA (19%)	4424245.00
				TOTAL EN TTC (Tous Taxe compris)	27709745.00

III.4.7 Le schéma électrique

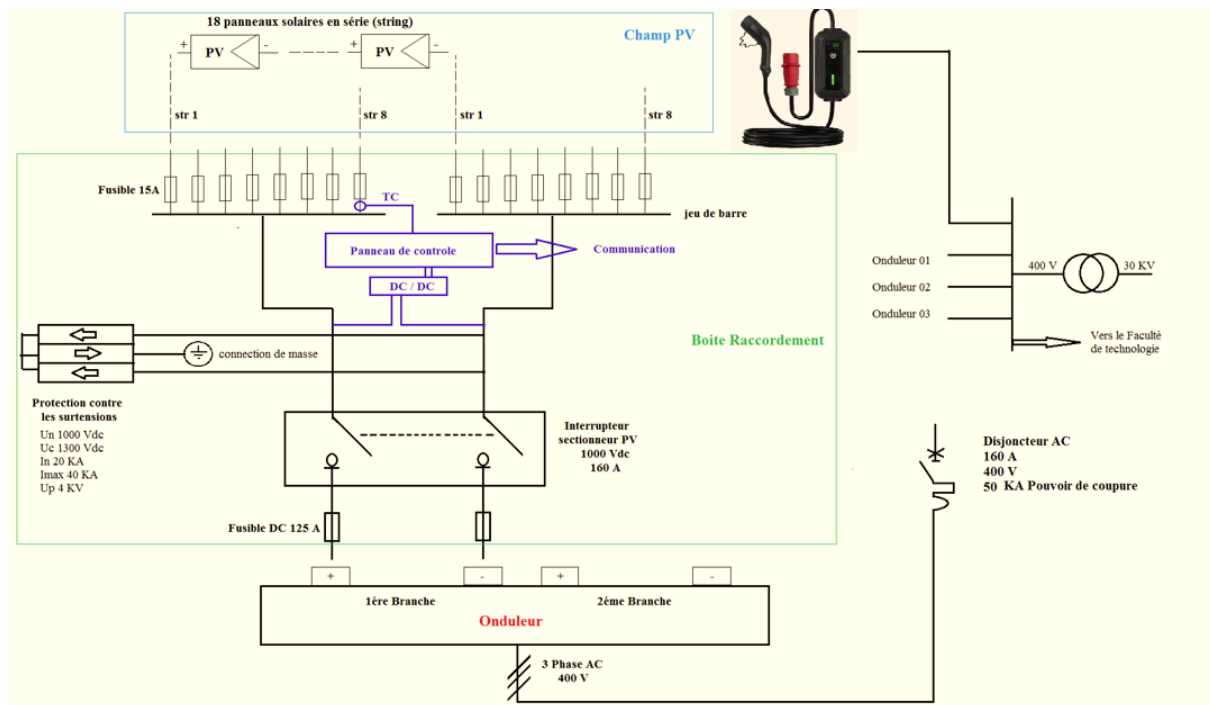


Figure III.13 : Schéma électrique du système

III.5 conclusion

L'importance du dimensionnement des systèmes photovoltaïques est pratiquement évidente pour s'adapter aux conditions météorologiques spécifiques de chaque zone afin d'éviter le gaspillage des ressources économiques du pays dans des systèmes surdimensionnés ou à l'inverse dans des systèmes sous dimensionnés et abandonnés.

Dans ce chapitre nous avons présenté La méthode de dimensionnement pour un système photovoltaïque connecté au réseau ainsi que tous les étapes à faire pour le réussir, ensuite, après avoir les caractéristique de notre Park , ce qui nous permettra de faire des calculs avec des fiches techniques du panneau et onduleur on grid, nous avons trouvé des résultats bien définis pour avoir terminer et réaliser le projet de cette faculté .En dernier lieu nous avons décrit Les étapes de préparation du système pour la remise du projet.

IV.1 Introduction :

PVSYST est destiné aux architectes, ingénieurs et chercheurs, tout en étant un excellent outil pédagogique. Il propose une aide contextuelle détaillée qui explique les procédures et modèles utilisés, et offre une approche ergonomique avec des guides pour le développement de projets. PVSYST permet d'importer des données météorologiques de diverses sources, ainsi que des données personnelles. Dans ce chapitre, nous allons simuler un parking solaire à l'aide du logiciel PVSYST pour un système photovoltaïque connecté au réseau

IV.2 Simulation du parking par le logiciel PVSYST :

IV.2.1 Logiciel PVSYST :

Le logiciel (PVSYST) permet de :

- Pré-dimensionnement
- Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations
- Conception de projet
- Etude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable.
- Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique,...).
- Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.)
- Outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique de champs PV avec ombrage).
- Analyse de données réelles mesurées (avancé) [13].

IV.2.2 Options du logiciel PVSYST :

Deux options caractérisent le logiciel PVSYST :

IV.2.2.1 Pré dimensionnement :

Le logiciel PVSYST permet le pré dimensionnement d'un projet, en quelques clics, sans composant réels, première évaluation des dimensions du système et de son composant. Le pré dimensionnement concerne trois systèmes :

- Couplé au réseau
- Isolé avec batteries
- Pompage [13].

IV.3 Conception/Dimensionnement du système :

- La conception du système est basée sur une procédure rapide et simple :
- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible.
- Choisir les modules PV dans la base de données interne.
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne et PVSYST propose une Configuration de système, qui de réaliser une première simulation / évaluation [18].

IV.4 Utilisation de logiciel PVSYST :

- On Choisie : conception du projet, en suite couplé au réseau,

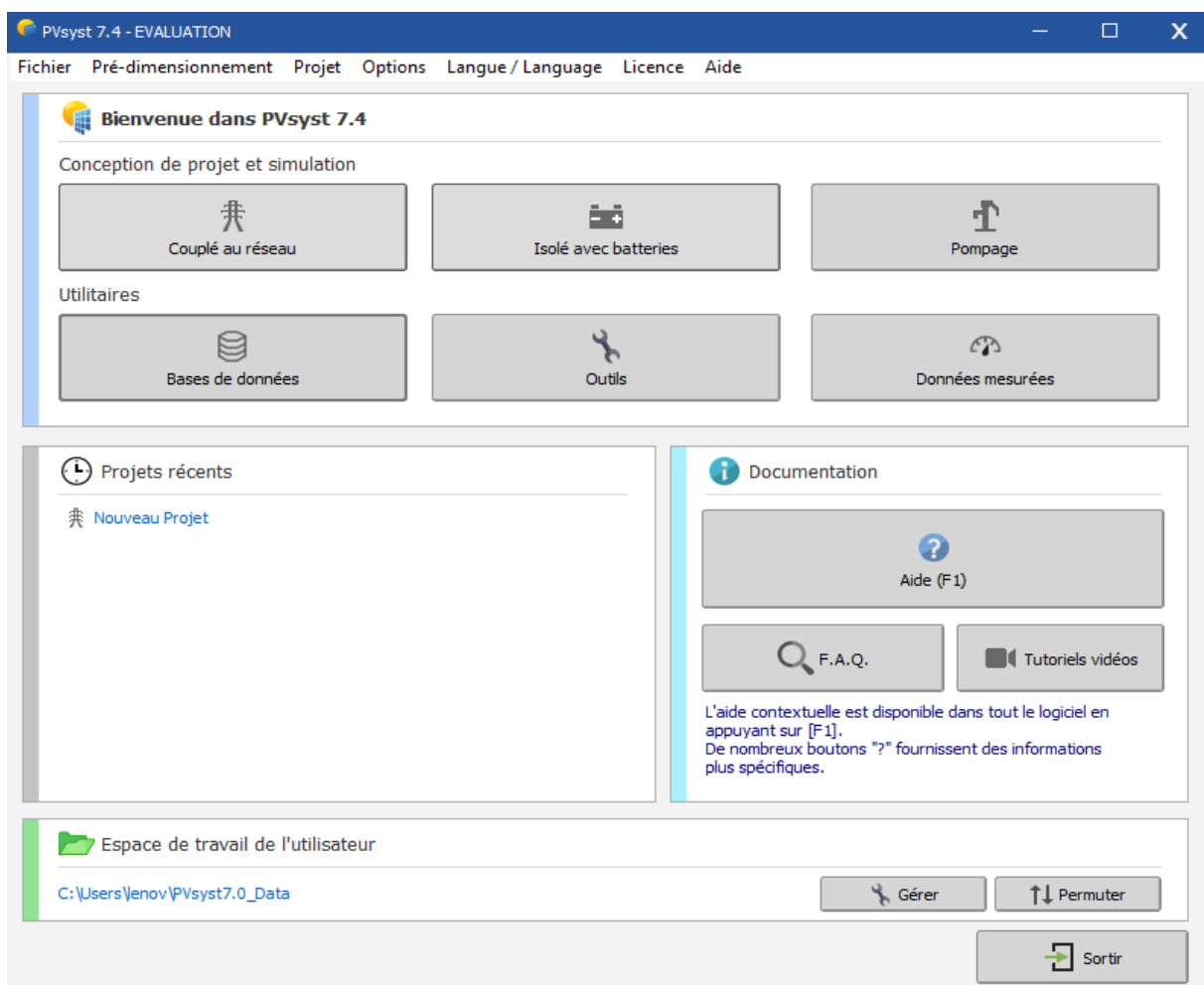


Figure IV .1 : Logiciel PVSYST

- Après, on a donné le nom du projet

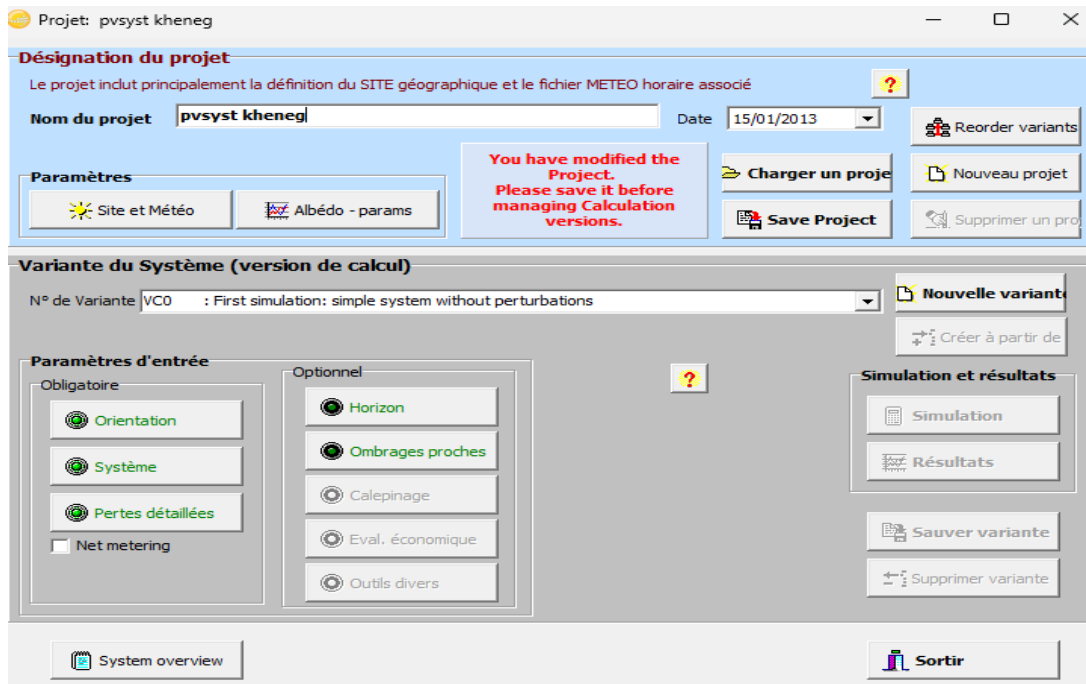


Figure IV.2 : Définition du projet et d'outil de simulation

- Cliquer sur base données météo et « sites géographique »

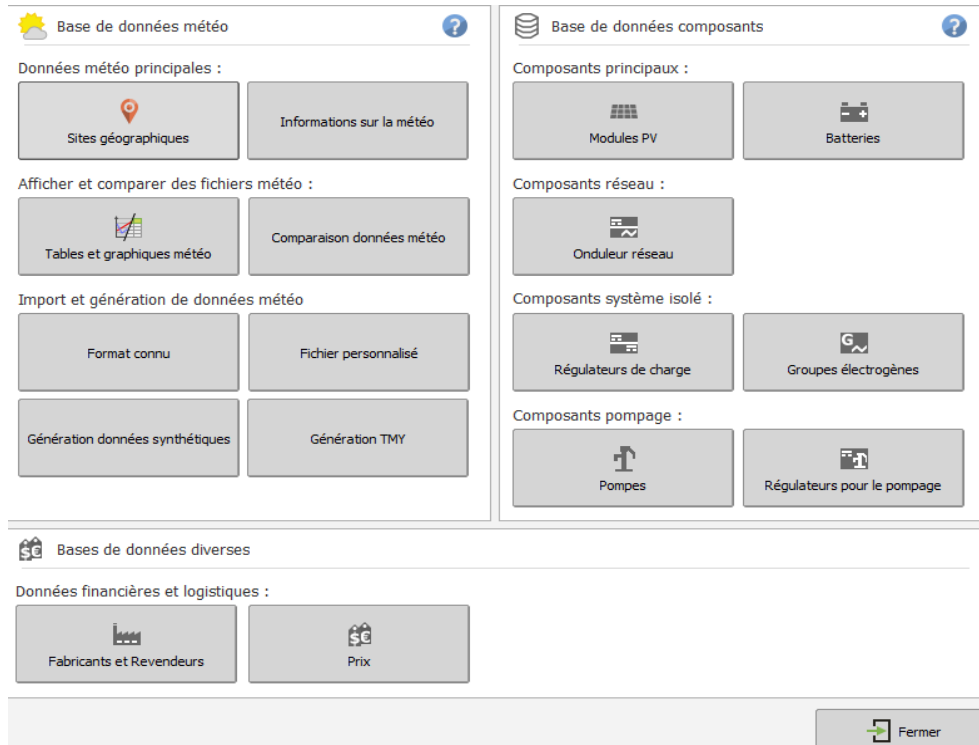


Figure IV.3 : Base de données de PVSYST

- Choix des données :
- Le nom de Pays et le nom de fichier
- Choisir Alegria puis cliquer sur « nouveau »

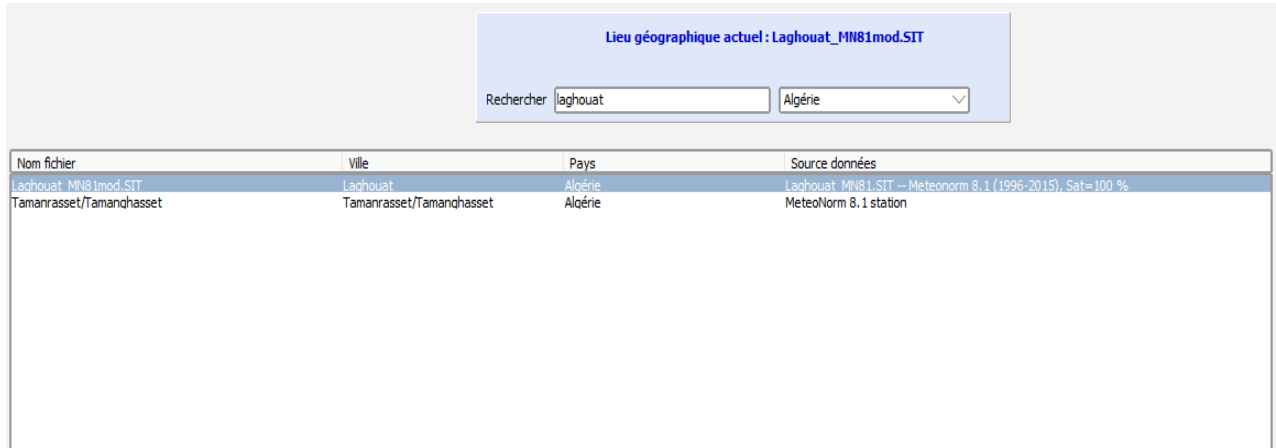


Figure IV.4 : Affectation de la situation et la météo

I.5 Coordonnées géographiques

En donnant :

- Le nom du site, pays, région, latitude, longitude, Altitude, fuseau horaire.

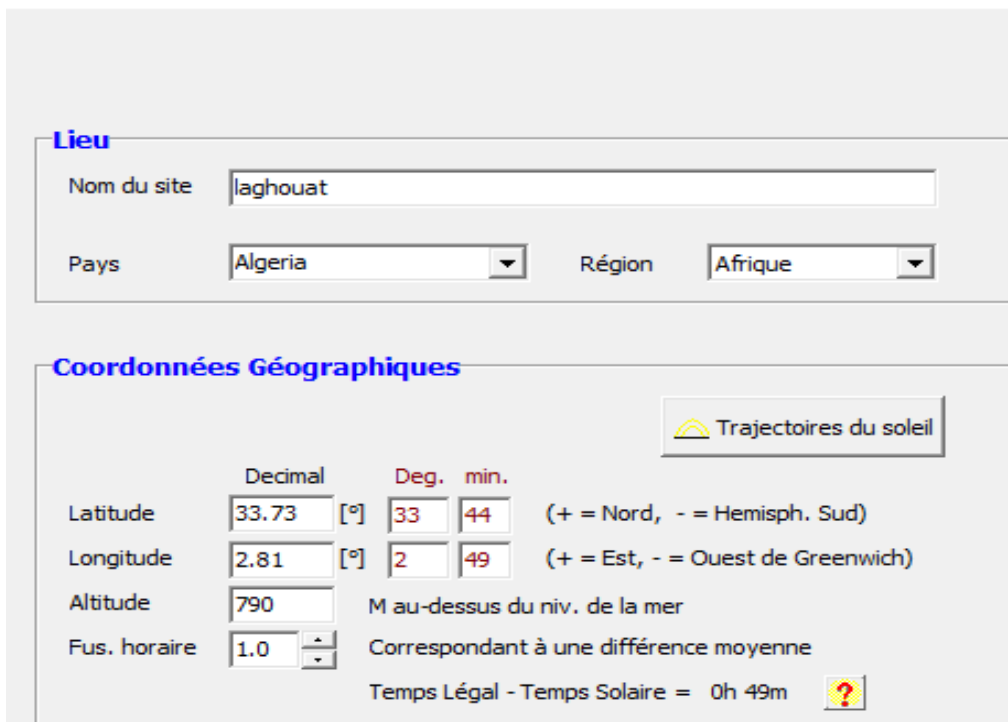


Figure IV.5 : Paramètres de site géographique et Coordonnées géographiques

- Cliquer sur Importer, cliquer sur ok

II.6 Météo mensuelle :

En remplissant irradiation globale utilise les obtenus à partir du site PVSYST et pour la température moyenne utilise-les obtenus à partir température mesuré ou température Depuis site web

Tableau IV.1 : Paramètres de site géographique météo mensuel.

Site **Laghouat (Algérie)**
 Source des données **Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 %**

	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Turbidité Linke [-]	Humidité relative %
Janvier	100.4	31.0	6.0	3.70	2.589	71.9
Février	114.9	36.1	7.4	4.19	2.927	64.5
Mars	163.0	49.3	11.7	4.50	4.031	53.9
Avril	197.2	56.1	15.3	4.50	4.698	47.8
Mai	218.0	80.3	20.5	4.20	5.638	40.9
Juin	226.0	80.6	26.2	3.79	6.370	32.3
Juillet	232.9	80.2	30.9	3.70	7.891	26.1
Août	212.7	74.7	29.5	3.30	6.794	30.5
Septembre	168.5	56.9	23.4	3.30	5.835	44.6
Octobre	145.8	41.0	18.6	3.19	4.508	52.3
Novembre	110.2	27.3	10.7	3.40	3.233	67.7
Décembre	93.7	25.0	7.1	3.40	2.743	75.3
Année	1983.2	638.6	17.3	3.8	4.771	50.6

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.4%

IV.7 Etapes pour faire les calculs

Projet

Nom du projet: **amen** Nom du client: Non défini

Fichier site: Laghouat_MN81.SIT Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 % Algérie

Fichier Météo: Laghouat_MN81_SYN.MET Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 % Synthétique

Simulation effectuée
(version 7.4.7, date 27/06/24)

Variante

N° de Variante: VC1 : Nouvelle variante de simulation

Paramètres principaux: Orientation, Système, Pertes détaillées, Autoconsommation, Stockage

Optionnel: Horizon, Ombrages proches, Calepinage, Gestion de l'énergie, Evaluation économique

Simulation: Lancer la simulation, Simulation avancée, Rapport, Résultats détaillés

Résultats principaux:

Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages
Production du système	528 MWh/an
Productible	1835 kWh/kWc/an
Indice de performance	0.799
Production normalisée	5.03 kWh/kWc/jour
Pertes champ	1.19 kWh/kWc/jour
Pertes système	0.07 kWh/kWc/jour

Figure IV.7 : Création du projet.

IV.7.1 Etape 1 : L'orientation :

Cette étape est pour donner le paramètre du champ et inclinaison plan Azimut

- Cliquer sur orientation

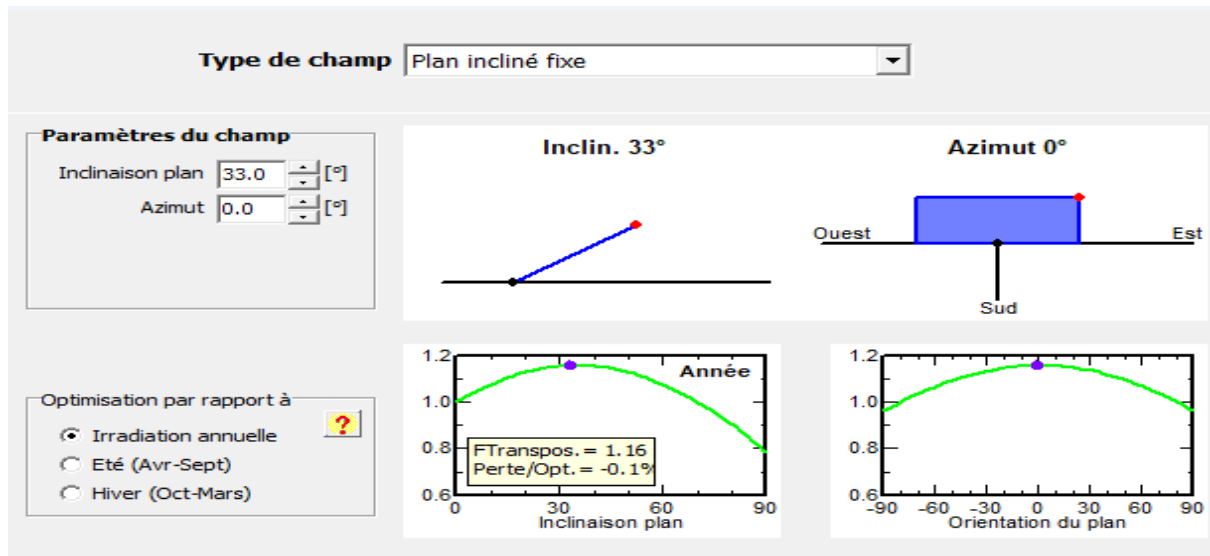


Figure IV.8 : Réglage de l'orientation

IV.7.2 Etape 2 : Horizon

- Cliquer sur horizon pour voir la ligne d'horizon à inclinaison. Azimut.

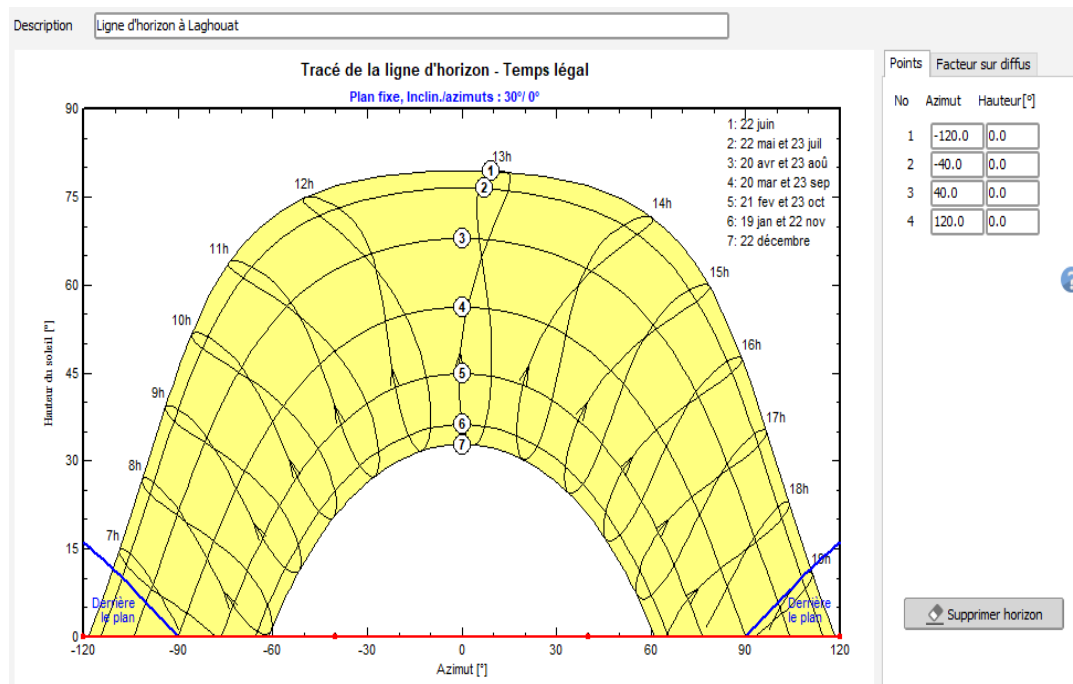


Figure IV.9 : Réglage de l'horizon

IV.7.3 Etape 3 : Cliquer sur système

- Dans cette étape en choisissant
- Enter espace (1) ou la puissance utilise (2)
- Choisir le panneau solaire pour le projet (3)
- Choisi l'onduleur (4), en suite cliquer sur ok

Sous-champ ?

Nom et orientation du sous-champ

Nom:

Orient.: **Plan incliné fixe** Inclinaison: **30°**
Azimut: **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Prom désirée: kWc ?

Redimens. ... ou surface disponible(modules): m²

Sélection du module PV

Disponibles: Filtre: Modules nécessaires approx.: **844**

 340 Wp 32V Si-poly KPV-340P-72 Depuis 2024 Datasheets 2024 Ouvrir

Utiliser optimiseur

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **31.8 V**
Vco (-10°C) **53.5 V**

Sélection de l'onduleur

Disponibles: Tension de sortie: 400 V Tri 50Hz 50 Hz
 60 Hz

 570 - 1000 V TL 50/60 Hz Sunny Highpower SHP100-21-PEAK3 Depuis 2022 Ouvrir

Nbre d'onduleurs: Tension de fonctionnement: **570-1000 V** Puissance globale ond.: **300 kWac**
Tension entrée maximale: **1000 V**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série: seule possibilité 18 ?

Nb. chaînes: entre 49 et 70

Perte surpuissance: **0.0 %**

Rapport Pnom: **0.96** Dimensionnement ?

Nbre modules: 846 Surface: 1642 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C): 573 V
Vmpp (20°C): 708 V
Vco (-10°C): 963 V

Irradiance plan: 1000 W/m²

Imp (STC): 418 A
Isc (STC): 442 A
Isc (aux STC): 442 A

La puissance de l'onduleur est légèrement surdimensionnée.

Max. données STC

Puiss. max. en fonctionnement (à 1095 W/m² et 50°C): **278 kW**

Puiss. nom. champ (STC): 288 kWc

Figure IV.10 : Réglage des paramètres du système.

IV.7.4 Etape 4 : Cliquer sur simulation

- Cliquer sur simulation en suite cliquer sur résultats

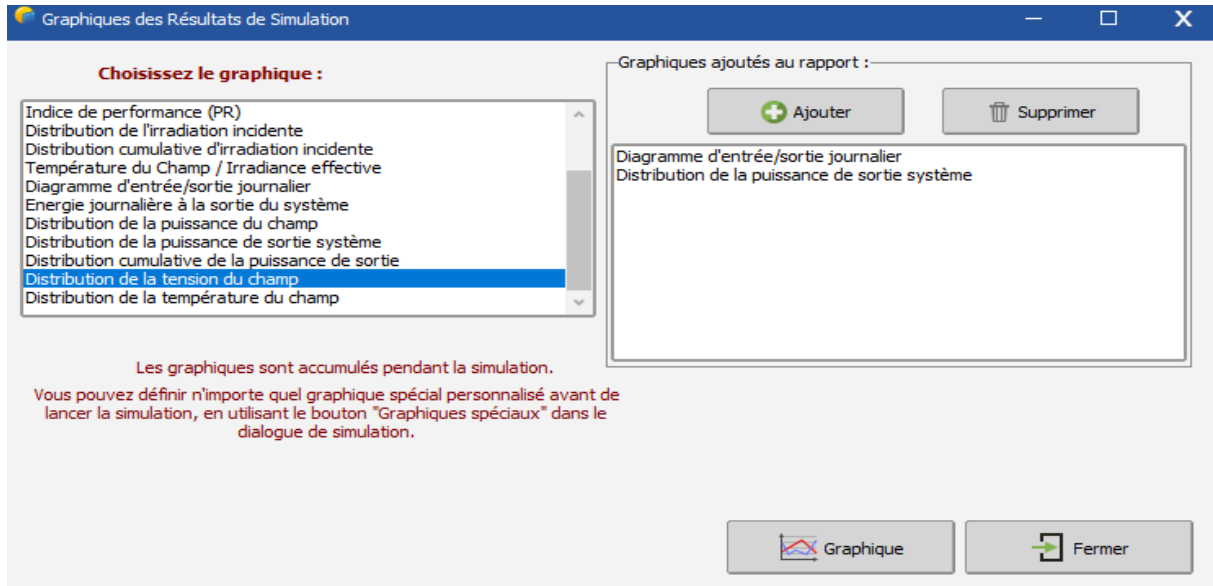


Figure IV.11 : PVSYST pour l'étape de la simulation

La figure (III .11), nous permet de lancer la simulation en obtenant des résultats sous forme des graphes, des histogrammes et des tableaux, dans ce qui suit on va donner des aperçus des résultats de simulation pour analyse et traitement

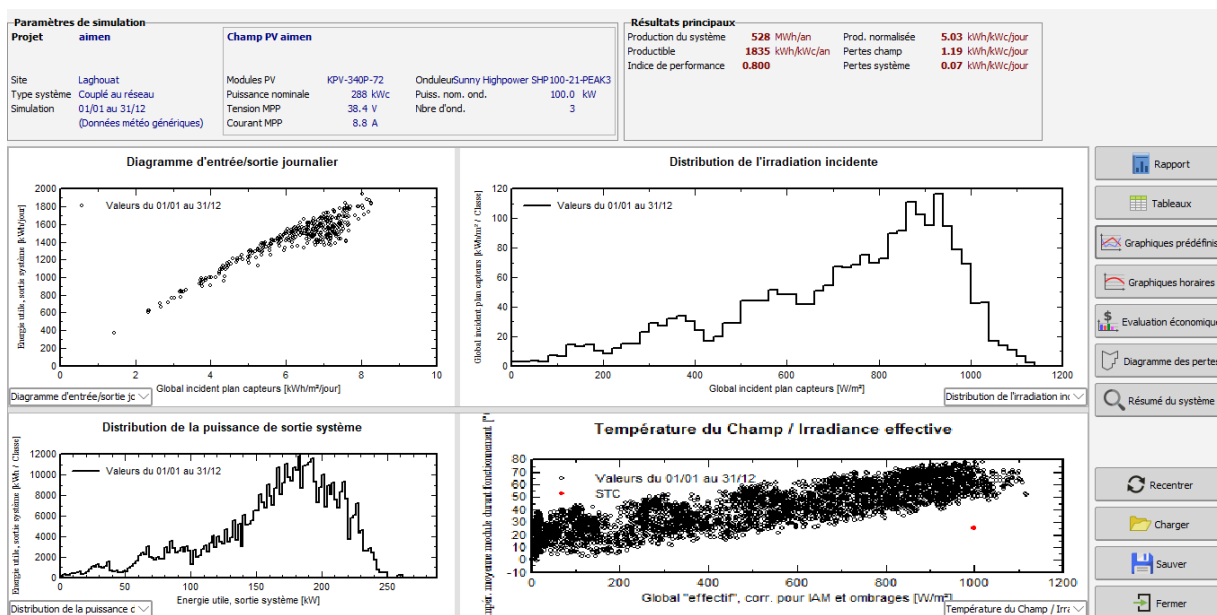


Figure IV.12 : Etape finale de PVSYST

- En suite Cliquer sur rapport

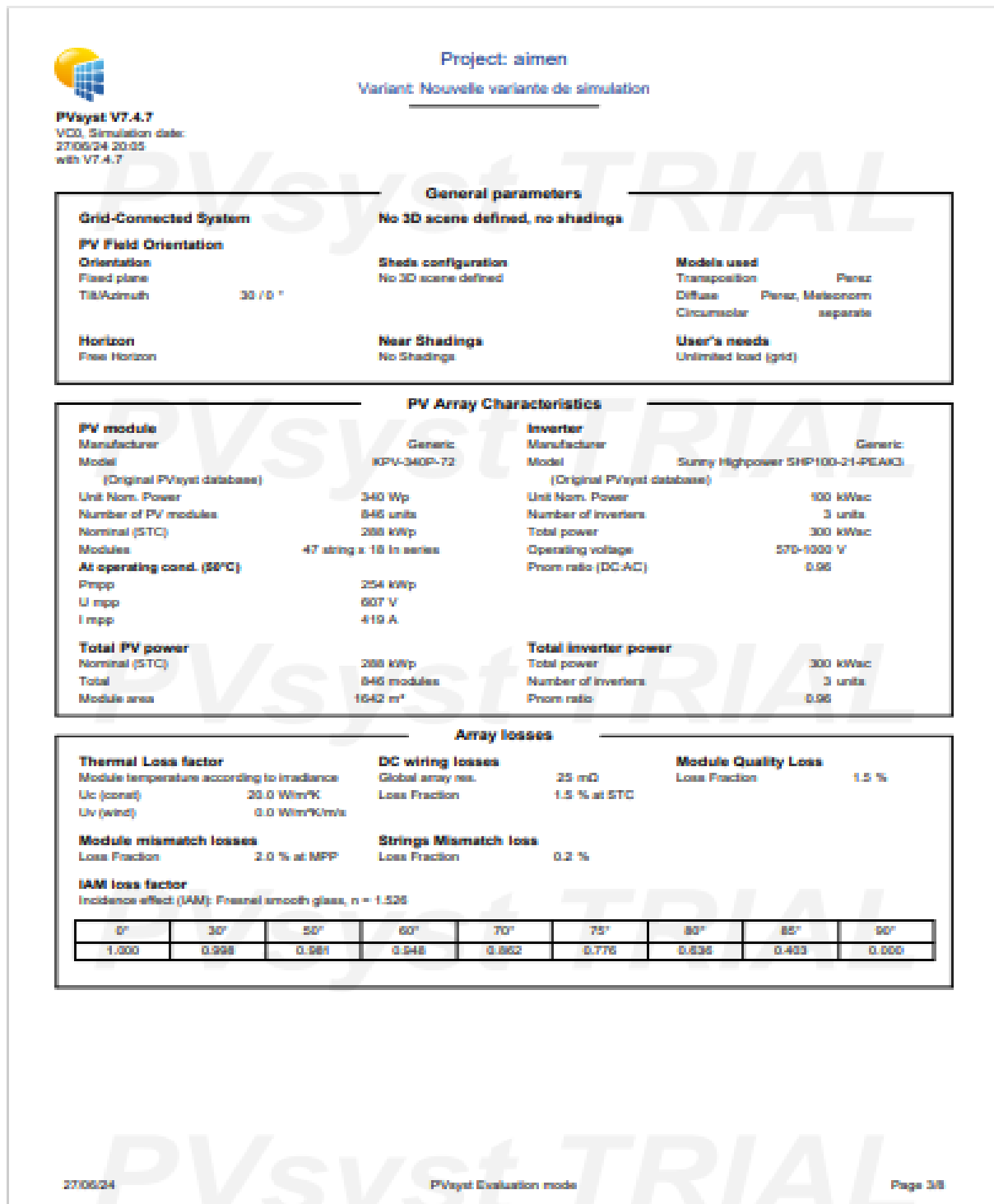


Figure IV.13 : Paramètres de la simulation.



PVsyst V7.4.7
 VCO, Simulation date:
 27/06/24 20:05
 with V7.4.7

Project: aimen
 Variant: Nouvelle variante de simulation

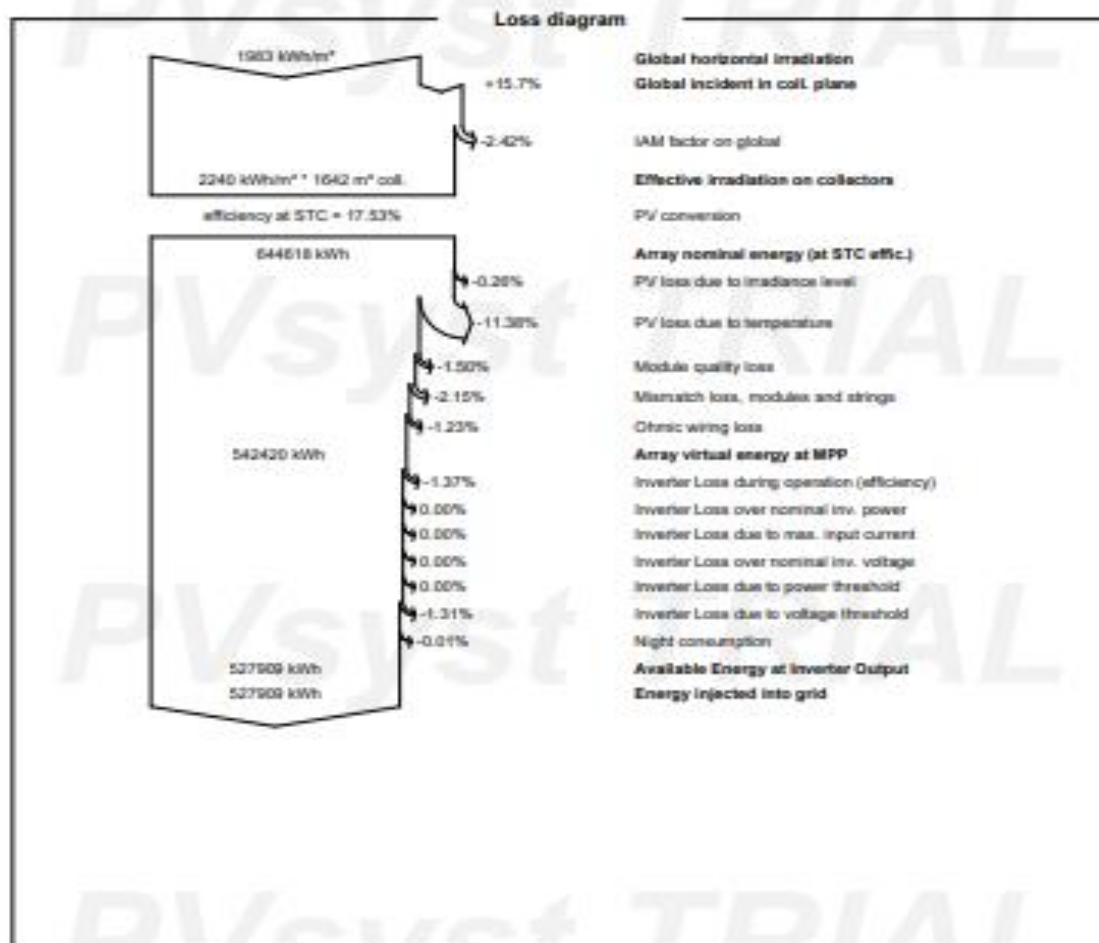


Figure IV.14 : Diagramme des pertes.

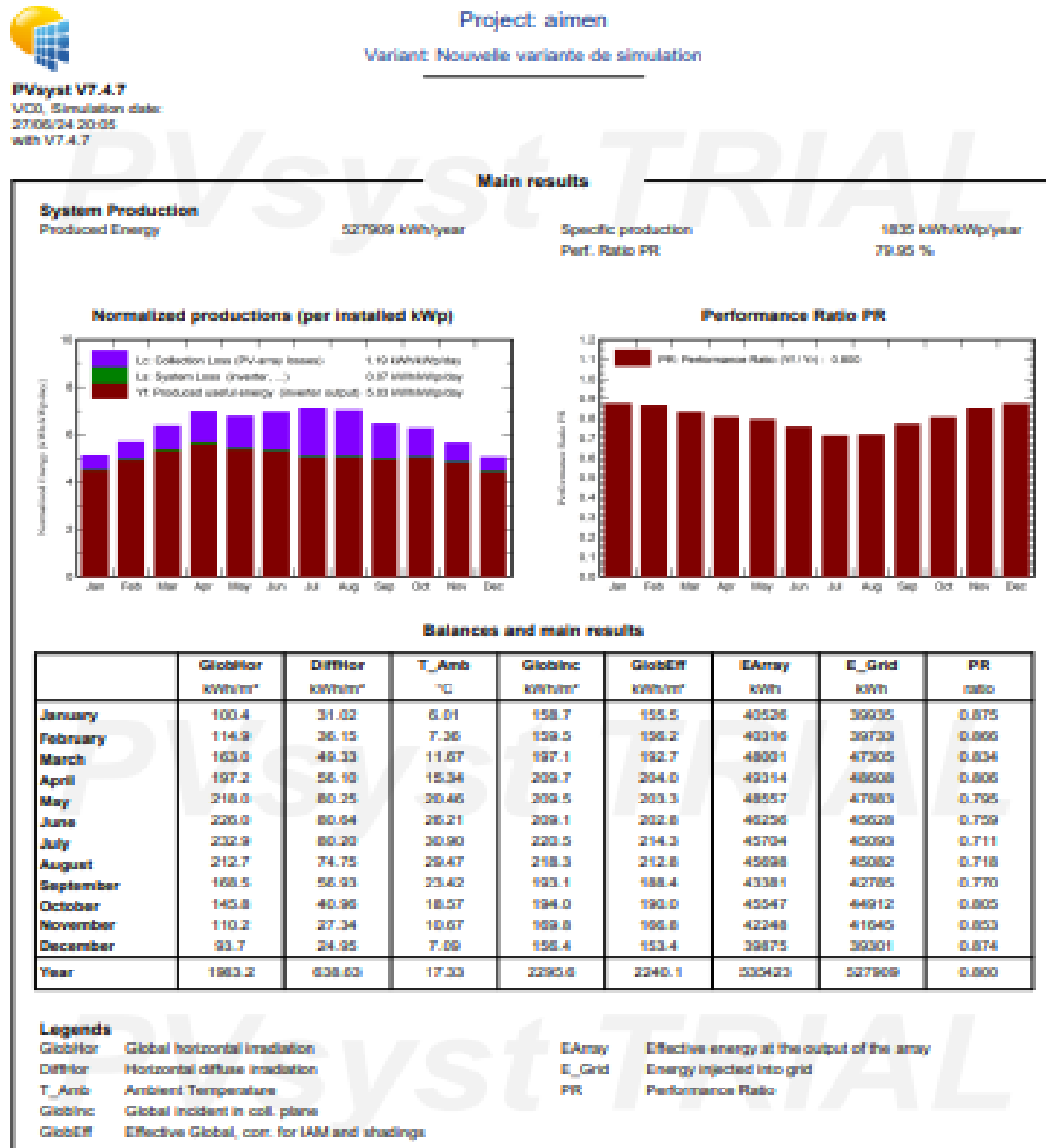


Figure IV.15 : Résultats principaux.

IV.8 Résultats principaux :

Dans ce qui suit on va donner des aperçus des résultats de simulation pour analyse et traitement.

IV.8.1 Energie produite :

La figure (IV .16) montre l'énergie produite par l'installation photovoltaïque donnée par le logiciel PVSYST durant une année. Sur cette figure

Normalized productions (per installed kWp)

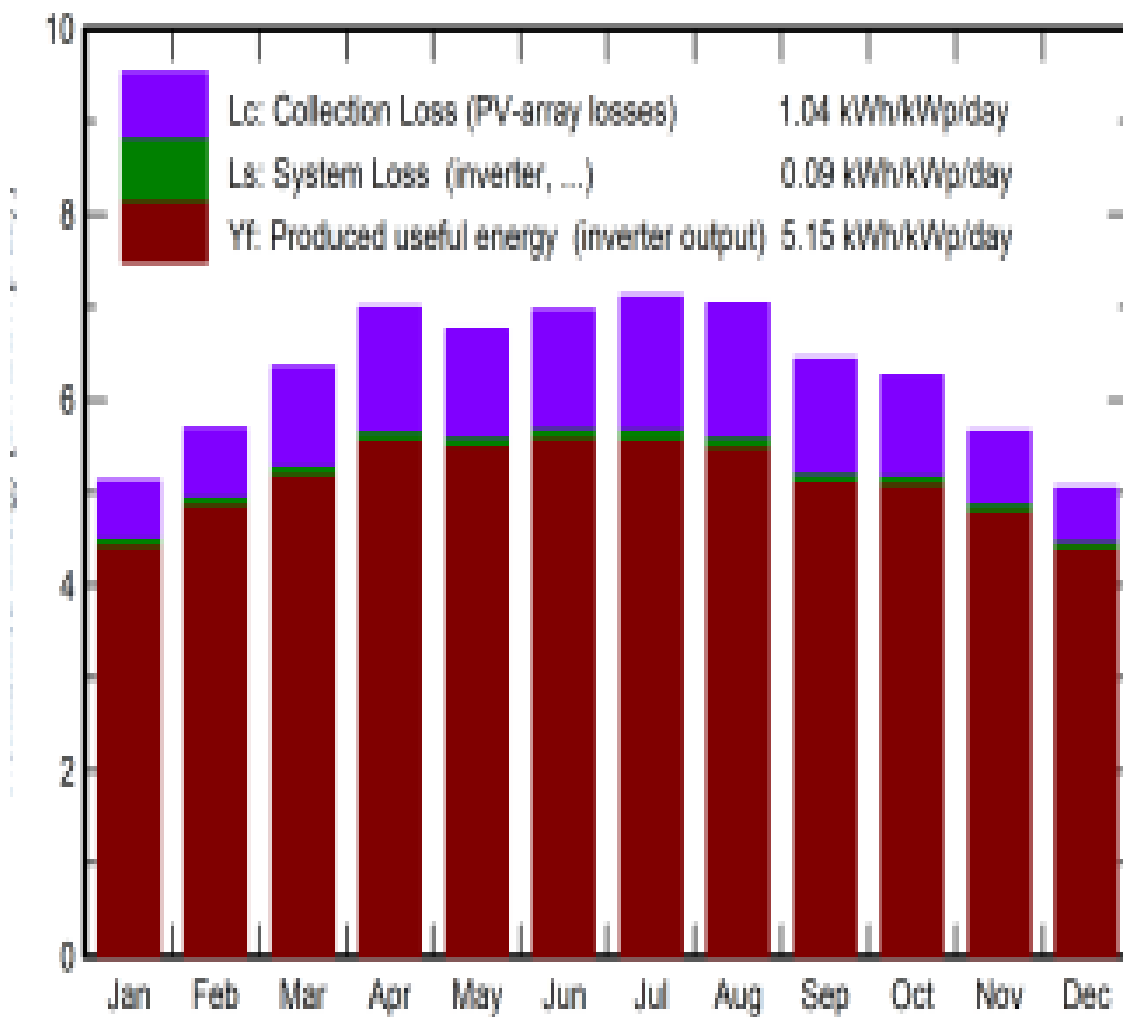


Figure IV.16 : Productions normalisées : Puissance nominale 287.6 KWc

On remarquera que l'énergie maximale est produite durant (avril-juin-juillet-août). L'énergie minimale est produite durant les mois de (Décembre et janvier).

IV.8.2 Bilans :

Le tableau suivant résume le bilan de l'énergie reçue et délivrée par l'installation durant une année par mois.

Tableau IV.2: Bilans et résultats principaux.

Nouvelle variante de simulation								
Bilans et résultats principaux								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
Janvier	100.4	31.02	6.01	158.7	155.5	40526	39935	0.875
Février	114.9	36.15	7.36	159.5	156.2	40316	39733	0.866
Mars	163.0	49.33	11.67	197.1	192.7	48001	47305	0.834
Avril	197.2	56.10	15.34	209.7	204.0	49314	48608	0.806
Mai	218.0	80.25	20.46	209.5	203.3	48557	47883	0.795
Juin	226.0	80.64	26.21	209.1	202.8	46256	45628	0.759
Juillet	232.9	80.20	30.90	220.5	214.3	45704	45093	0.711
Août	212.7	74.75	29.47	218.3	212.8	45698	45082	0.718
Septembre	168.5	56.93	23.42	193.1	188.4	43381	42785	0.770
Octobre	145.8	40.96	18.57	194.0	190.0	45547	44912	0.805
Novembre	110.2	27.34	10.67	169.8	166.8	42248	41645	0.853
Décembre	93.7	24.95	7.09	156.4	153.4	39875	39301	0.874
Année	1983.2	638.63	17.33	2295.6	2240.1	535423	527909	0.800

Avec :

GlobHor : Irradiation globale horizontale

Diffhor : Irradiation diffuse horizontale

T-Amb : Température ambiante

GlobInc : Global incident plan capteurs

GlobEff : Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

EArray : Energie effective sortie champ

E-Grid : Energie injectée dans le réseau

PR : Indice de performance

IV.8.3 Diagramme des pertes système :

La figure (IV.17) montre les pertes d'énergie de l'énergie reçue jusqu'à l'énergie injectée au réseau. L'énergie injectée dans le réseau est de l'ordre de 63.9MWh par ans.

Diagramme des pertes pour "Nouvelle variante de simulation" - année

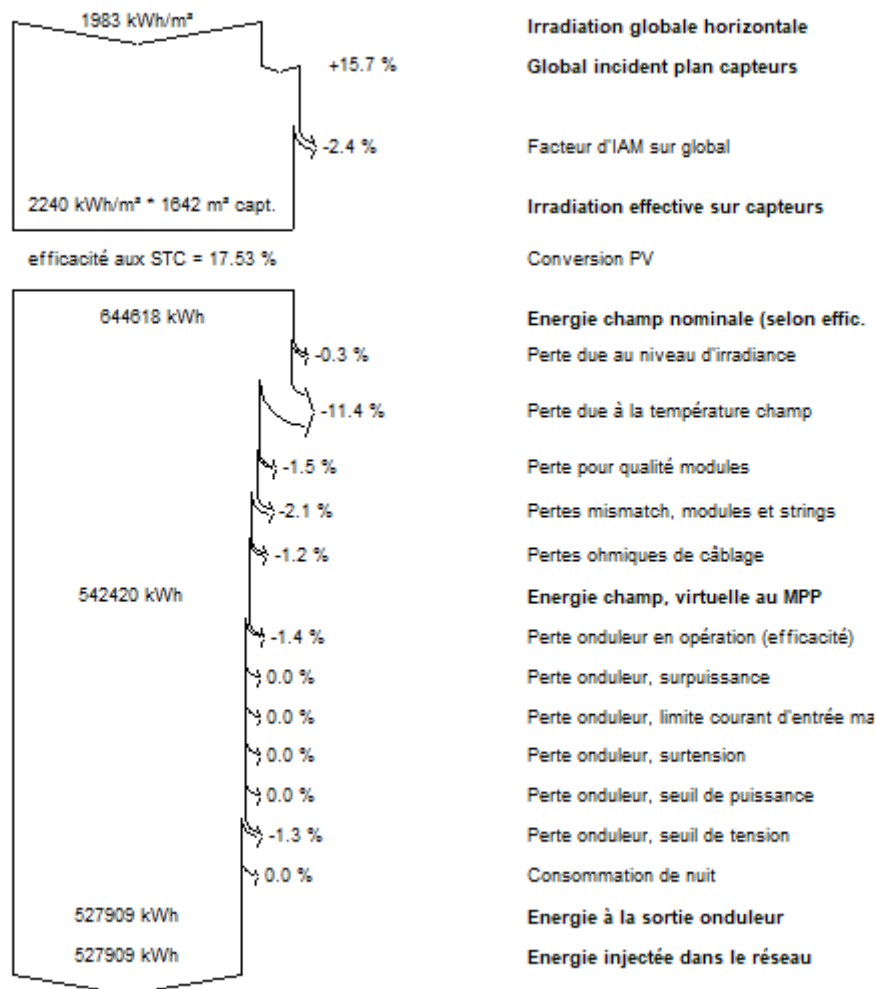


Figure IV.17 : Diagramme des pertes du système

IV.8.4 Diagramme d'entrée/sortie journalier :

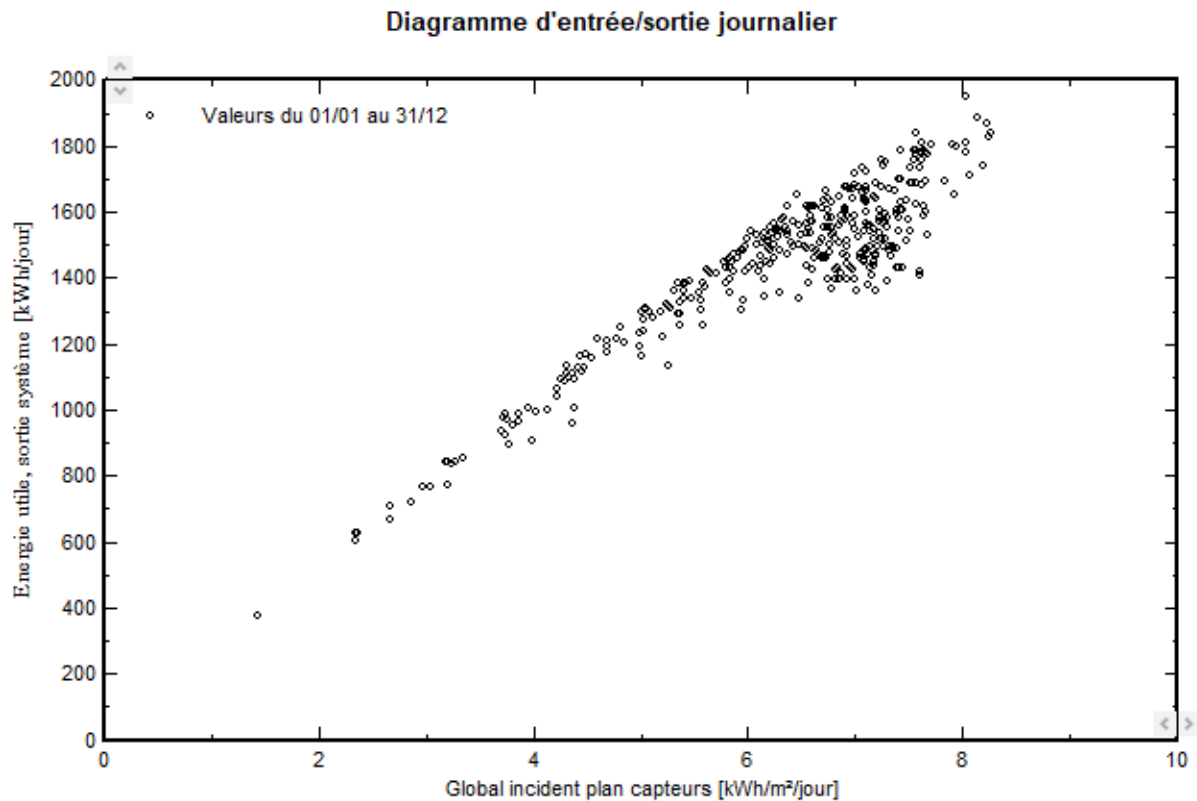


Figure IV.18 : Diagramme d'entrée /sortie journalier.

Le diagramme figurant ci-dessus nous donne l'énergie injectée dans le réseau en [kWh/jour] en fonction d'un rayonnement incident global en [kWh/m².jr] pendant toute l'année dans la région, on observe que l'énergie produite injectée dans le réseau électrique augmente en fonction du rayonnement incident global sur la surface active des panneaux photovoltaïque. Une énergie de 400 kWh/jour environ est correspondante à un rayonnement global d'environ 1.5kWh/m².jr et pour un rayonnement global d'environ 8kWh/m².jr nous donne une énergie injectée au réseau d'environ de 1950 kWh/jour.

IV.8.5 Energie journalière à la sortie du système :

Energie journalière à la sortie du système

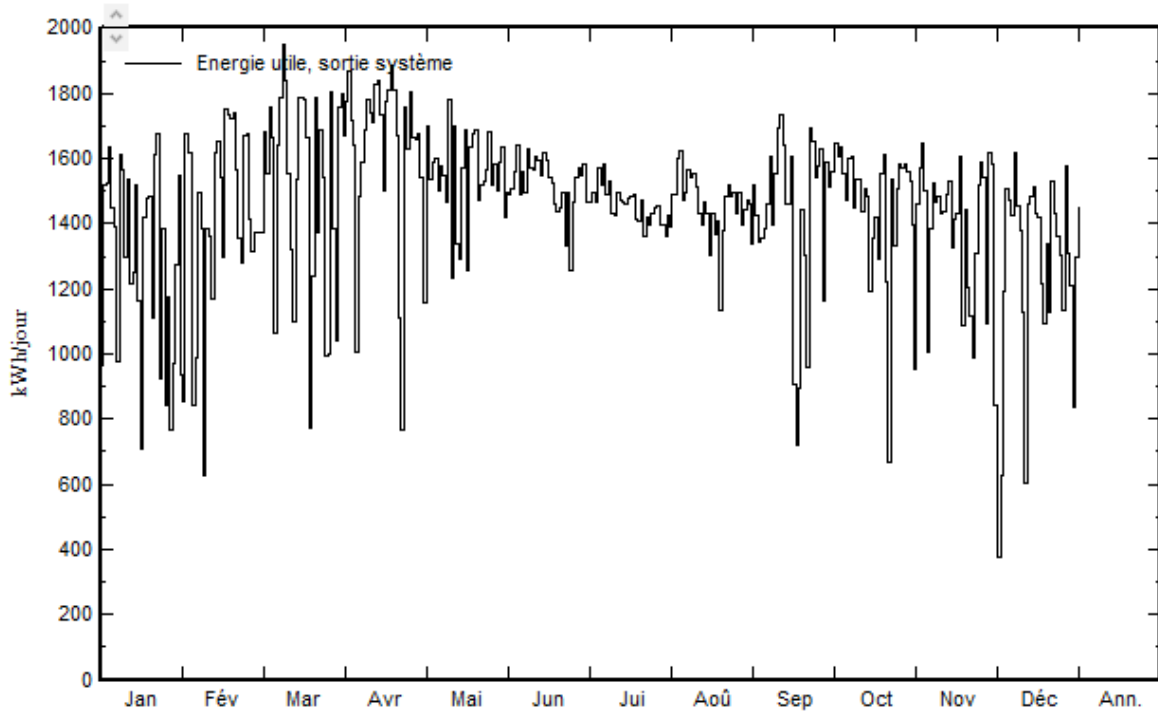


Figure IV.19 : Energie journalière à la sortie du système

La figure (IV.19) montre l'énergie journalière produite de l'installation

IV.8.6 Indice de performance (PR) :

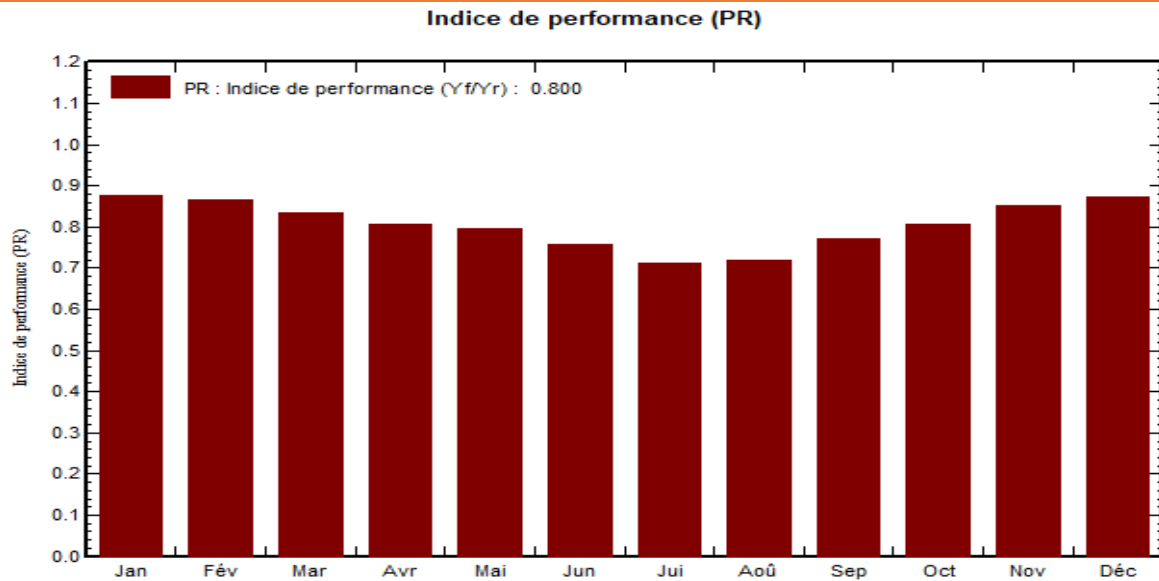


Figure IV.20 : Indice de performance (PR)

IV.8.7 Détail des pertes du système :

Le tableau suivant résumée détaillées pertes du système reçu et délivré par l’installation durant une année par mois

Tableau IV.3 : Détail des pertes du système

Fermer Imprimer Exporter Aide

Nouvelle variante de simulation
Détail des pertes système

	ModQual	MisLoss	OhmLoss	EArrMPP	InvLoss
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Janvier	637.6	900	439.3	40526	591
Février	634.5	896	453.6	40316	583
Mars	757.2	1069	604.8	48049	744
Avril	781.9	1104	657.5	49586	978
Mai	769.1	1086	598.3	48817	934
Juin	742.7	1049	598.2	47123	1496
Juillet	758.6	1071	651.3	48089	2997
Août	755.8	1067	666.2	47898	2816
Septembre	695.7	982	583.8	44120	1335
Octobre	721.5	1019	589.2	45773	862
Novembre	665.3	939	497.8	42249	604
Décembre	627.3	886	429.5	39875	575
Année	8547.1	12067	6769.5	542420	14515

Avec :

EArrMPP : Energie champ, virtuelle au MPP

ModQual : perte pour qualité modules

MisLoss : perte du champ pour « mise en marche »

InvLoss : Pertes onduleur globales.

OhmLoss : pertes ohmiques de câblage.

IV.8.8 Coefficient des performances normalisées :

Le tableau suivant résume coefficient des performances normalisées reçue et délivrée par l'installation durant une année par mois.

Tableau IV.4 : Coefficient de performance normalisé

Fermer Imprimer Exporter Aide

Nouvelle variante de simulation								
Coefficient de performance normalisés								
	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² /jour	kWh/kWc/jour	kWh/kWc/jour	kWh/kWc/jour	kWh/kWc/jour	ratio	ratio	ratio
Janvier	5.12	0.57	4.54	0.07	4.48	0.112	0.013	0.875
Février	5.70	0.69	5.01	0.07	4.93	0.121	0.013	0.866
Mars	6.36	0.97	5.38	0.08	5.31	0.153	0.012	0.834
Avril	6.99	1.28	5.71	0.08	5.63	0.182	0.012	0.806
Mai	6.76	1.31	5.45	0.08	5.37	0.194	0.011	0.795
Juin	6.97	1.61	5.36	0.07	5.29	0.231	0.010	0.759
Juillet	7.11	1.99	5.13	0.07	5.06	0.279	0.010	0.711
Août	7.04	1.92	5.12	0.07	5.06	0.272	0.010	0.718
Septembre	6.44	1.41	5.03	0.07	4.96	0.219	0.011	0.770
Octobre	6.26	1.15	5.11	0.07	5.04	0.184	0.011	0.805
Novembre	5.66	0.76	4.90	0.07	4.83	0.135	0.012	0.853
Décembre	5.04	0.57	4.47	0.06	4.41	0.113	0.013	0.874
Année	6.29	1.19	5.10	0.07	5.03	0.189	0.011	0.799

Yr : Energie incidente de référence dans plan capteurs

- Lc** : Pertes champ PV normalisées
- Ya** : Production du champ PV normalisée
- Ls** : Pertes système normalisée
- Yf** : Production du système normalisée
- Lcr** : Perte champ PV/En. Plan capt. de référence
- Lsr** : Perte champ PV/En. Plan capt. de référence
- PR** : Indice de performance

IV.9 Le schéma unifilaire du système photovoltaïque :

Le schéma synoptique du système photovoltaïque complet trouvé par le logiciel de simulation est représenté sur la figure (IV.21). Ce système est composé en deux parties principales : c'est le Générateur PV qui se compose de plusieurs modules photovoltaïques couplés en série et en parallèle, afin d'augmenter la tension et le courant adapter à l'onduleur choisi. Le nombre de module photovoltaïque en série est de 18 d'une puissance unitaire de 340 Wc, et le nombre de chaîne du système photovoltaïque est de 47 chaînes, avec une puissance totale de 287.64 kWc

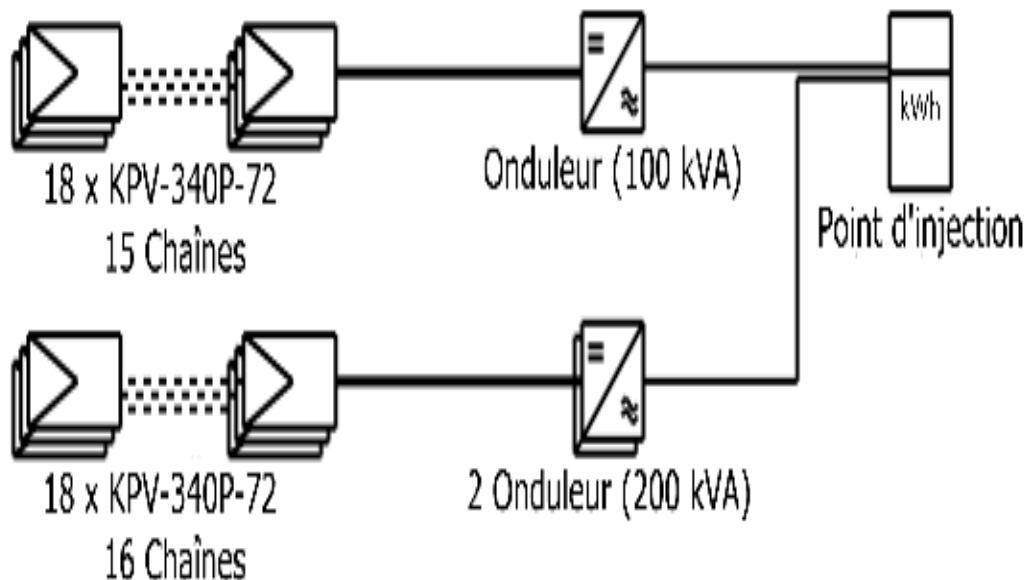


Figure IV.21 : Schéma unifilaire du système photovoltaïque.

IV. 10 Comparaison des résultats analytiques avec ceux expérimentaux :

- On va faire une comparaison entre les résultats théoriques et les résultats de simulation

Tableau IV.5: Comparaison entre les résultats de simulation et expérimentaux

	les résultats théorique	résultats de simulation
Nombre de string	47	47
Nombre de panneaux	846	846
Nombre de panneaux en série	18	18 seul possibilité
Puissance installé (kW)	287.6	287.6
Nombre d'onduleur	3	3
Surface du projet (m ²)	1692	1642

- D'après la comparaison, on trouve que les résultats sont identiques

IV. 11 Revenu du projet

On va calculer la différence entre les dépenses et la recette du projet

Les dépenses du projet 78267485,2 DA

Le prix approuvé par l'état pour 1Kwh d'énergie photovoltaïque est 14 DA

D'après logiciel PVSYST on a :

Energie injecté au réseau $E_{GRID} = 527909$ Kwh/ans

$$\begin{aligned}\text{Recette}_{\text{annuel}} &= E_{\text{GRID}} \times \text{Prix de 1Kwh} \\ &= 527909 \times 14 = 7390726 \text{ DA}\end{aligned}$$

$$\text{Donc } \frac{\text{Les dépenses du projet}}{\text{Recette annuel}} = \frac{78267485,2 \text{ DA}}{7390726 \text{ DA}} \cong 10.5 \text{ ans}$$

Les normes de rendement financier du projet sont limitées entre 8 ans et 12 ans

Alors notre projet est conforme aux normes.

IV.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué comment utiliser le logiciel PVSYST pour l'installation d'un système photovoltaïque couplé au réseau. Le logiciel PVSYST nous permet d'importer des données météorologiques au format « Dat » en introduisant divers paramètres tels que l'orientation, l'horizon et le système. Nous avons analysé le fonctionnement des panneaux photovoltaïques et de l'onduleur solaire. Les résultats des simulations montrent que le système photovoltaïque conçu dans ce travail permet une exploitation optimale de l'énergie solaire, même en tenant compte des différents facteurs de dégradation des équipements, et ce, même sous des conditions sévères (variations brusques de l'éclairement et de la température)

Après comparaison, nous avons constaté que les résultats analytiques et ceux issus du logiciel de simulation sont identiques, confirmant ainsi le bon choix et le dimensionnement du système.

Enfin on a fait un petit bilans financière, on a calculer la différence entre les dépenses et la recette du projet

De nos jours, l'énergie solaire connaît une utilisation croissante en raison des problèmes environnementaux et de la limitation des réserves de ressources fossiles. Cependant, elle nécessite une grande surface et présente un faible rendement par rapport à l'énergie produite. Dans ce contexte, nous avons exploité la surface des parkings en y installant des panneaux photovoltaïques, offrant à la fois de l'ombre et produisant de l'électricité. Cela nous a conduit à établir des règles de dimensionnement pour la réalisation de ce projet [24]

Dans ce travail, nous avons étudié et simulé un parking solaire connecté au réseau électrique public. Cette étude apporte les notions de base du système photovoltaïque et les éléments nécessaires pour la production d'électricité par un parking solaire

Dans un premier temps, nous avons présenté les différentes notions de base, le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque (PV), ainsi que les différents systèmes de connexion photovoltaïques

En deuxième partie, nous présentons les types de systèmes existants, les convertisseurs DC/DC, leur principe de fonctionnement ainsi que leurs différents types. Nous abordons ensuite les commandes MPPT, leur principe de fonctionnement, quelques algorithmes et le choix de la commande MPPT. Nous étudions également les composants électriques d'un système photovoltaïque connecté au réseau et le fonctionnement de l'onduleur solaire. Enfin, nous présentons les avantages et les inconvénients du système photovoltaïque

Nous avons ensuite détaillé le projet de parking solaire : étude qualitative et quantitative, conditions techniques d'interconnexion au réseau électrique. Nous avons dimensionné une installation photovoltaïque pour optimiser tous les besoins en matériel

Après avoir étudié et dimensionné le système, nous avons simulé le projet de parking solaire d'une puissance de 287,6 kW en utilisant le logiciel PVSYST. Enfin, nous avons présenté les résultats de la simulation du parking

Le logiciel de simulation PVSYST s'est avéré adéquat pour le choix des composants de notre installation. Les résultats obtenus par le logiciel étaient conformes à ceux obtenus par les méthodes de calcul traditionnelles

Pour conclure, nous proposons de compléter notre étude par une réalisation pratique. Une étude expérimentale sera proposée lors de la mise en œuvre de notre projet

Par exemple on ajouté un système SCADA et une station météo pour le contrôle et la commande en plus nous bénéficions une base de donnée réelle pour les études (TP, projet fin d'études la recherche.....etc)

Tableau de reference

N°	Les références
1	"Solar Radiation and Daylight Models" par Tariq Muneer
2	"Solar Engineering of Thermal Processes" par John A. Duffie et William A. Beckman
3	"Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts" par Peter Würfel
4	"Solar Cell Device Physics" par Stephen Fonash
5	"Photovoltaic Systems Engineering" par Roger A. Messenger et Jerry Ventre
6	Livre : "Photovoltaic Systems" par James P. Dunlop
7	Livre : "Photovoltaic Systems" par James P. Dunlop
8	Recent Developments in High-Efficiency PV Modules" par Martin A. Green et al.
9	"Photovoltaic Systems Engineering" par Roger A. Messenger et Jerry Ventre
10	Photovoltaic Systems" par James P. Dunlop
11	Article : "Solar Cell Junction Box" sur ScienceDirect
12	Article "A Review of DC-DC Converter Topologies for Renewable Energy Systems" par Ahmad Al Nabulsi et Rached Dhaouadi
13	Article A Comparative Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems" par H. Patel et V. Agarwal
14	Power Electronics: Converters, Applications, and Design" par Ned Mohan, Tore M. Undeland, et William P. Robbins
15	"Grid-Connected Photovoltaic Power Conversion Systems" par Remus Teodorescu, Marco Liserre, Pedro Rodriguez
16	"Battery Systems Engineering" par Christopher D. Rahn et Brandon R. McIlwain
17	Article "Review of Battery Technologies for Photovoltaic Applications" par Marco Rosa-Clot et al.
18	Article Etude et simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique (étude de cas réseau d'Adrar) Présenté par : Gamni Abdelkader Université d'Adrar
19	"Solar Photovoltaic Technology and Systems: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers" par Chetan Singh Solanki
20	"Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy" par Fereidoon P. Sioshansi
21	"Renewable Energy: Power for a Sustainable Future"
22	"The Transition to Renewable Energy Systems"
23	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) en Algérie
24	Agence Internationale pour les Énergies Renouvelables (IRENA)

Reference bibliographique

N°	Les références
1	CENTRAL PHOTOVOLTAIQUE LAGHOUAT
2	https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-et-photovoltaique-une-breve-histoire/
3	https://www.researchgate.net/figure/Schema-electrique-dune-cellule-photovoltaique_fig1_264845311
4	http://physique.unice.fr/sem6/2011-2012/PagesWeb/PT/Cellule/silicium.html
5	https://solaire-france.com/cellules-solaires/
6	https://solaire-france.com/cellules-solaires/
7	https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaique/schema-panneau-photovoltaique.html
8	https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaique/schema-panneau-photovoltaique.html
9	https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaique/schema-panneau-photovoltaique.html
10	https://acsolue-energie.fr/2021/08/16/processus-de-fabrication-dun-panneau-photovoltaique-cristallin-et-des-cellules-de-silicium/
11	https://o2toit.fr/nos-actualites/solaire/installation-100-m2-de-panneaux-solaires-est-ce-rentable/
12	https://si.blaisepascal.fr/1t-cellule-photovoltaique/
13	https://www.memoireonline.com/10/18/10424/m_tude-et-conception-d-une-chane-photovoltaque-connectee-au-reseau-et-etude-de-la-qualite-de14.html
14	https://www.memoireonline.com/10/18/10424/m_tude-et-conception-d-une-chane-photovoltaque-connectee-au-reseau-et-etude-de-la-qualite-de14.html
15	https://o2toit.fr/nos-actualites/solaire/installation-100-m2-de-panneaux-solaires-est-ce-rentable/
16	https://shoptr5.kaiopoli.com/category?name=cabler%20une%20boite%20de%20d%C3%A9viation
17	https://www.researchgate.net/figure/Symbole-dun-convertisseur-DC-DC_fig12_320910795
18	https://www.researchgate.net/figure/Schema-de-principe-dun-convertisseur-Boost_fig16_329980090
19	https://www.researchgate.net/figure/Chronogrammes-de-courant-et-de-tension-dun-hacheur-Buck_fig12_320910807
20	https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-circuit-electrique-dun-convertisseur-Buck-Pour-cela-nous-devons-faire-la_fig14_329980090
21	https://www.researchgate.net/figure/Chronogrammes-de-courant-et-de-tension-dun-hacheur-Buck_fig12_3209108075
22	https://www.researchgate.net/figure/Convertisseur-buck-boost_fig5_30513363
23	https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/
24	https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Chaine-elementaire-de-conversion-photovoltaique_fig1_343921689
25	https://www.photovoltaique.info/media/filer_public/c8/ed/c8ed323f-85b4-491b-8823-e39d4466484d/esprit_raccordement_des_centrales_pv_au_rpd_bt_en_france.pdf
26	https://energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_photo_voltaique/Partie_2/Chapitre_II_3.pdf
27	https://energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_photo_voltaique/Partie_2/Chapitre_II_3.pdf
28	https://energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_photo_voltaique/Partie_2/Chapitre_II_3.pdf

Reference bibliographique

29	https://www.solaris-store.com/content/43-principe-de-fonctionnement-d-une-batterie-solaire
30	https://www.securipro.eu/blog/securite/les-risques-incendie-des-batteries-lithium/
31	https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/azzoui_boubaker/files/chapitre2_systeme_photovoltaique-partie1.pdf?m=1587899949
32	https://depositum.uqat.ca/id/eprint/1433/1/dhiaeddine_mosbah_memoire_2023.pdf
33	https://www.bonus-consulting.com/
34	https://www.researchgate.net/figure/Systeme-photovoltaique-avec-systeme-de-stockage_5fig1_326260490
35	https://www.moanaroa.com/energie/e-injection.php
36	https://www.moanaroa.com/energie/e-injection.php

/ SHP 100-21 / SHP 150-21 / SHP 172-21 / SHP 180-21



Sunny Highpower PEAK3

Paré pour demain, dès aujourd'hui

25 YEAR
DESIGN LIFE

 SMA
Smart Connected

Économique

- Densité de puissance élevée de 180 kW grâce à son design compact
- Production maximale grâce à un rapport DC/AC pouvant atteindre 200 %
- Aucun derating jusqu'à 50 °C

Fiable

- Disponibilité maximale de l'installation grâce à des unités de 180 kW
- Fonctions numériques pérennes compatibles avec la plateforme de gestion de l'énergie ennexOS

Flexible

- Pour des tensions d'entrée DC jusqu'à 1500 V
- Flexibilité totale grâce au choix libre des coffrets DC

Installation facile

- Manipulation ergonomique et raccordement simple pour une installation rapide
- Mise en service et contrôle centralisés de la centrale photovoltaïque via le SMA Data Manager

Le Sunny Highpower PEAK3 est le composant central de la solution SMA destinée aux centrales photovoltaïques dotées d'une architecture décentralisée et présentant des tensions système de 1500 Volts DC.

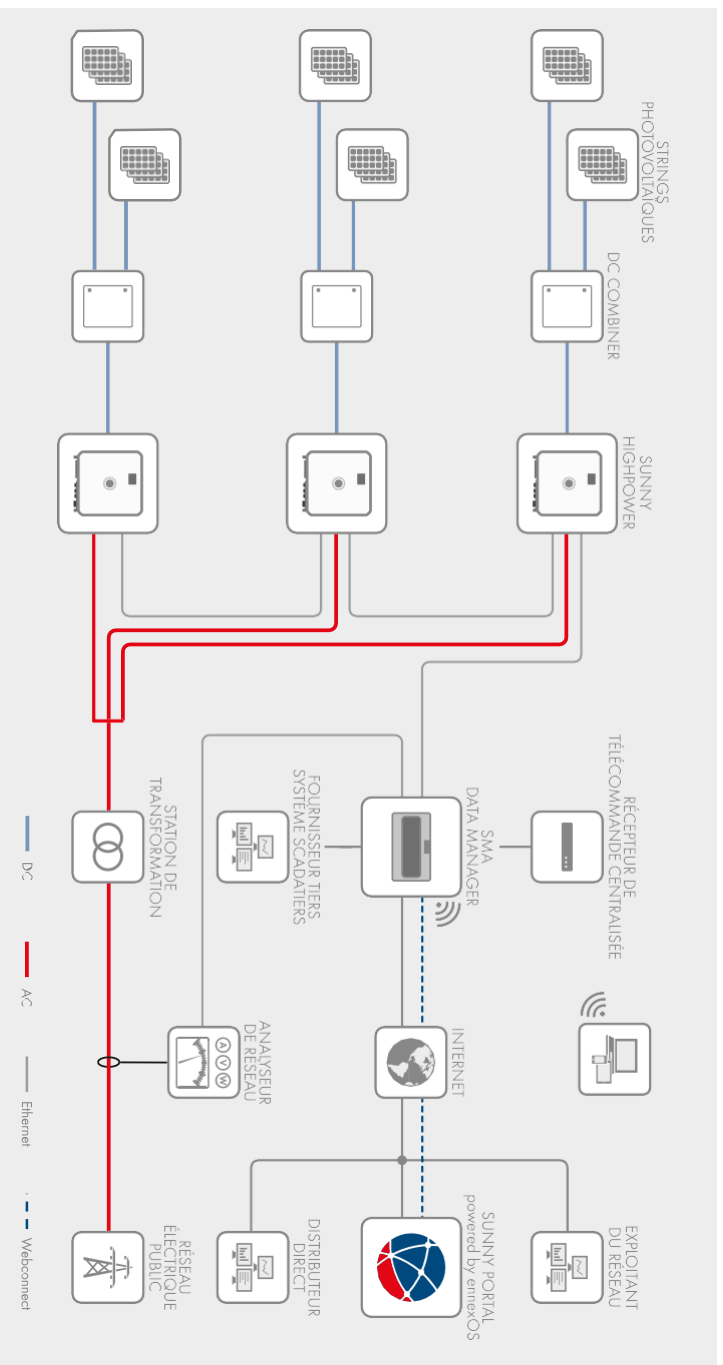
Grâce à sa densité de puissance élevée, cet onduleur string compact permet de réaliser des solutions à coûts optimisés pour des applications photovoltaïques industrielles. Il facilite le transport et permet une installation et une mise en service rapides. D'une puissance de 180 kW, l'onduleur string dispose du service intégré SMA Smart Connected assurant des interventions SAV proactives qui facilitent la gestion et la maintenance de l'installation tout en diminuant significativement les frais d'entretien pendant toute la durée du projet.

Caractéristiques techniques	Sunny Highpower 100-21	Sunny Highpower 150-21
Entrée (DC)		
Puissance max. du générateur photovoltaïque	200 kWc	300 kWc
Tension d'entrée max.	1100 V	1500 V
Plage de tension MPP / Tension d'entrée assignée	590 V à 1000 V / 590 V	880 V à 1450 V / 880 V
Tension DC min. / tension de démarrage	570 V / 625 V	855 V / 940 V
Courant d'entrée/de court-circuit max.	180 A / 325 A	
Nombre de MPP trackers indépendants	1	
Nombre d'entrées	1 ou 2 (en option) pour boîtiers externes de raccordement pour le générateur photovoltaïque	
Sortie (AC)		
Puissance assignée à tension nominale	100 kW	150 kW
Puissance apparente AC max.	100 kVA	150 kVA
Tension nominale AC / Plage de tension AC	400 V / 177 V à 477 V	600 V / 480 V à 690 V
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz / 44 Hz à 55 Hz 60 Hz / 54 Hz à 66 Hz	
Fréquence de réseau assignée	50 Hz	
Courant de sortie maximal	151 A	
Facteur de puissance à la puissance assignée / Facteur de déphasage réglable	1 / 0 inductif à 0 capacitif	
Taux de distorsion harmonique (THD)	< 0,5 %	
Phases d'injection / Raccordement AC	3 / 3-PE	
Rendement		
Rendement max. / européen Rendement	98,8 % / 98,5 %	99,1 % / 98,8 %
Dispositifs de protection		
Surveillance du défaut à la terre / Surveillance du réseau / Protection inversion de polarité DC	● / ● / ●	
Résistance aux courts-circuits AC / Séparation galvanique	● / —	
Unité de surveillance du courant de défaut, sensible à tous les courants	●	
Parafoudre AC/DC protégés (type II)	● / ●	
Classe de protection (selon CEI 62109-1) / Catégorie de surtension (selon CEI 62109-1)	I / AC : III ; DC : II	
Caractéristiques générales		
Dimensions (L/H/P)	770 mm / 830 mm / 462 mm (30,3 in / 32,7 in / 18 in)	
Poids	99 kg (218 livres)	
Plage de température de fonctionnement	-25 °C à +60 °C (-13 °F à +140 °F)	
Emissions sonores, typiques	69 dB(A)	
Autoconsommation (nuit)	< 5 W	
Topologie	sans transformateur	
Système de refroidissement	OptiCool, système de refroidissement actif, ventilateur à vitesse régulée	
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP65	
Valeur maximale admise pour l'humidité relative de l'air (sans condensation)	100 %	
Équipement / Fonction / Accessoires		
Raccordement DC / Raccordement AC	Cosse d'extrémité (jusqu'à 300 mm ²)/Borne à vis (jusqu'à 150 mm ²)	
Affichage DEL (état/erreur/communication)	●	
Interface Ethernet	● (2 ports)	
Interface de données : SMA Modbus/SunSpec Modbus/Speedwire	● / ● / ●	
Type de montage	Montage en rack	
OptiTrac/Integrated Plant Control/Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Compatible off-grid / Compatible SMA Fuel Save Controller	● / ●	
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 / 25 ans	● / ○ / ○ / ○ / ○	
Certificats et homologations (en attente)	IEC/EN 62109-1/-2, VDE-AR-N 4110/4120, IEC 62116, IEC 61727, EN 50549, C10/11, CEI 0-16, G99/1 (> 16A), PO 12.3, ABNT NBR 16149	
Désignation du type	SHP 100-21	SHP 150-21

● Équipement en série ○ Équipement en option — Non disponible Données valables en conditions nominales Version : 03/2023

Caractéristiques techniques	Sunny Highpower 172-21	Sunny Highpower 180-21
Entrée (DC)		
Puissance max. du générateur photovoltaïque	344 kWc	360 kWc
Tension d'entrée max.	1500 V	1500 V
Plage de tension MPP / Tension d'entrée assignée	968 V à 1450 V / 968 V	1012 V à 1450 V / 1012 V
Tension DC min. / tension de démarrage	939 V / 1032 V	982 V / 1079 V
Courant d'entrée/de court-circuit max.	180 A / 325 A	
Nombre de MPP trackers indépendants	1	
Nombre d'entrées	1 ou 2 (en option) pour boîtiers externes de raccordement pour le générateur photovoltaïque	
Sortie (AC)		
Puissance assignée à tension nominale	172 kW	180 kW
Puissance apparente AC max.	172 kVA	180 kVA
Tension nominale AC / Plage de tension AC	660 V / 528 V à 759 V	690 V / 552 V à 793 V
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz / 44 Hz à 55 Hz 60 Hz / 54 Hz à 66 Hz	
Fréquence de réseau assignée	50 Hz	
Courant de sortie maximal	151 A	
Facteur de puissance à la puissance assignée / Facteur de déphasage réglable	1 / 0 inductif à 0 capacitif	
Taux de distorsion harmonique (THD)	< 0,5 %	
Phases d'injection / Raccordement AC	3 / 3-PE	
Rendement		
Rendement max./européen	99,2 % / 98,9 %	99,2 % / 98,9 %
Dispositifs de protection		
Surveillance du défaut à la terre / Surveillance du réseau / Protection inversion de polarité DC	• / • / •	
Résistance aux courts-circuits AC / Séparation galvanique	• / —	
Unité de surveillance du courant de défaut, sensible à tous les courants	•	
Parafoudre AC/DC protégés (type II)	• / •	
Classe de protection (selon CEI 62109-1) / Catégorie de surtension (selon CEI 62109-1)	I / AC : III ; DC : II	
Caractéristiques générales		
Dimensions (L/H/P)	770 mm / 830 mm / 462 mm (30,3 in / 32,7 in / 18 in)	
Poids	99 kg (218 livres)	
Plage de température de fonctionnement	-25 °C à +60 °C (-13 °F à +140 °F)	
Emissions sonores, typiques	69 dB(A)	
Autoconsommation (nuit)	< 5 W	
Topologie	sans transformateur	
Système de refroidissement	OptiCool, système de refroidissement actif, ventilateur à vitesse régulée	
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP65	
Valeur maximale admise pour l'humidité relative de l'air (sans condensation)	100 %	
Équipement / Fonction / Accessoires		
Raccordement DC / Raccordement AC	Cosse d'extrémité (jusqu'à 300 mm ²)/Borne à vis (jusqu'à 150 mm ²)	
Affichage DEL (état/erreur/communication)	•	
Interface Ethernet	• (2 ports)	
Interface de données : SMA Modbus/SunSpec Modbus/Speedwire	• / • / •	
Type de montage	Montage en rack	
OptiTrac/Integrated Plant Control/Q on Demand 24/7	• / • / •	
Compatible off-grid / Compatible SMA Fuel Save Controller	• / •	
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 / 25 ans	• / ○ / ○ / ○ / ○	
Certificats et homologations (en attente)	IEC/EN 62109-1/-2, VDE-AR-N 4110/4120, IEC 62116, IEC 61727, EN 50549, C10/11, CEI 0-16, G99/1 (> 16A), PO 12.3, ABNT NBR 16149	
Désignation du type	SHP 172-21	SHP 180-21

• Équipement en série ○ Équipement en option — Non disponible Données valables en conditions nominales Version : 03/2023





Power Your Life

YLM 72 CELL

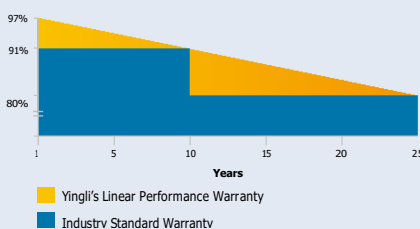


19.9%
CELL EFFICIENCY

10 YEAR
PRODUCT WARRANTY

0 - 5W

25 Years Linear Warranty



IMPROVED POWER NEVER SETTLE FOR LESS

Choosing the best P-type monocrystalline cells, YLM series modules are making the best out of your system. Trust in the expertise of Yingli and well proven technology.

+ $\frac{W}{m^2}$ High Power Density
High conversion efficiency and more power output per square meter.

Durability
Durable PV modules, independently tested for harsh environmental conditions such as exposure to salt mist, ammonia and known PID risk factors.

Advanced Glass
Our high-transmission glass features a unique anti-reflective coating that directs more light on the solar cells, resulting in a higher energy yield.

PID Resistant
Tested in accordance to the standard IEC 62804, our PV modules have demonstrated resistance against PID (Potential Induced Degradation), which translates to security for your investment.

Yingli Green Energy

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE), known as "Yingli Solar," is one of the world's leading solar panel manufacturers with the mission to provide affordable green energy for all. Deploying more than 17 GW solar panels worldwide, Yingli Solar makes solar power possible for communities everywhere by using our global manufacturing and logistics expertise to address unique local challenges.

YLM 72 CELL

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)								
Module type	YLxxxD-36b (xxx=P _{max})							
Power output	P _{max}	W	350	345	340	335	330	325
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0/+5					
Module efficiency	η _m	%	18.0	17.7	17.5	17.2	17.0	16.7
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	38.6	38.3	37.9	37.6	37.2	36.9
Current at P _{max}	I _{mpp}	A	9.07	9.02	8.97	8.91	8.86	8.81
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	48.0	47.7	47.3	46.9	46.6	46.2
Short-circuit current	I _{sc}	A	9.41	9.38	9.35	9.32	9.29	9.27

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.0% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)								
Power output	P _{max}	W	255.3	251.7	248.0	244.4	240.7	237.1
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	35.2	34.9	34.6	34.3	34.0	33.6
Current at P _{max}	I _{mpp}	A	7.26	7.22	7.18	7.13	7.09	7.05
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	44.3	44.0	43.7	43.3	43.0	42.7
Short-circuit current	I _{sc}	A	7.61	7.58	7.56	7.53	7.51	7.49

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of P _{max}	γ	%/°C	-0.42
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{Voc}	%/°C	-0.32
Temperature coefficient of I _{sc}	α _{Isc}	%/°C	0.05

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC}
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s
Module fire performance	Type 1

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / dimensions / number of busbars)	72 / monocrystalline silicon / 156.75mm x 156.75mm (+/-0.25) / 4 or 5
Frame (material)	anodized aluminum alloy
Junction box (protection degree)	≥ IP67
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP68 or YT08-1S / IP67 or Amphenol H4 / IP68 or Forsol SIKE4 / IP68 or Renhe RH05-6 / IP67

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer, they only serve for comparison to different module types.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

UL1703, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000



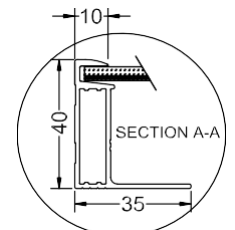
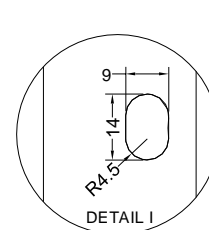
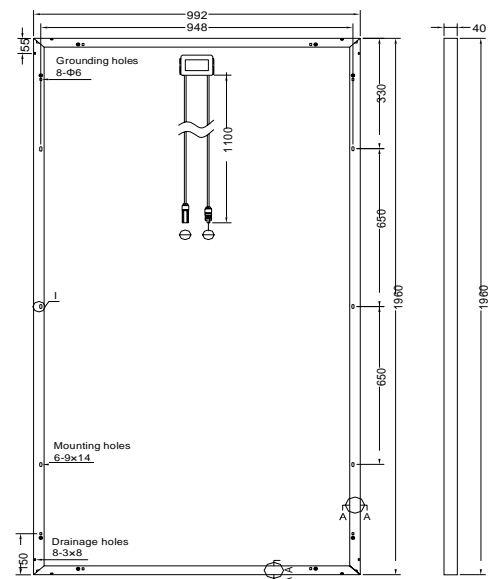
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1960mm/992mm/40mm
Weight	22kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	24
Packaging box dimensions (L / W / H)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Box weight	616kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User Manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Yingli Partners:

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

service@yingli.com

Tel: +86-312-2188055

YINGLISOLAR.COM





PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: aimen

Variant: Nouvelle variante de simulation

No 3D scene defined, no shadings

System power: 288 kWp

Laghouat - Algeria



PVsyst V7.4.7

VCO, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Laghouat	Latitude 33.80 °N	Albedo 0.20
Algeria	Longitude 2.87 °E	
	Altitude 763 m	
	Time zone UTC+1	
Weather data		
Laghouat		
Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 % - Synthétique		

System summary

Grid-connected system	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth 30 / 0 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 846 units	Nb. of units 3 units	
Pnom total 288 kWp	Pnom total 300 kWac	
	Pnom ratio 0.959	

Results summary

Produced Energy 527909 kWh/year	Specific production 1835 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 79.95 %
---------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7
CO ₂ Emission Balance	8



PVsyst V7.4.7

VCO, Simulation date: 27/06/24 20:05 with V7.4.7

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation			
Orientation		Sheds configuration	
Fixed plane		No 3D scene defined	
Tilt/Azimuth	30 / 0 °		
		Models used	
		Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
Horizon		Near Shadings	
Free Horizon		No Shadings	
		User's needs	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	KPV-340P-72	Model	Sunny Highpower SHP100-21-PEAK3
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	340 Wp	Unit Nom. Power	100 kWac
Number of PV modules	846 units	Number of inverters	3 units
Nominal (STC)	288 kWp	Total power	300 kWac
Modules	47 string x 18 In series	Operating voltage	570-1000 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	0.96
Pmpp	254 kWp		
U mpp	607 V		
I mpp	419 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	288 kWp	Total power	300 kWac
Total	846 modules	Number of inverters	3 units
Module area	1642 m²	Pnom ratio	0.96

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	25 mΩ	Loss Fraction	1.5 %			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s							
Module mismatch losses		Strings Mismatch loss						
Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.2 %					
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.4.7

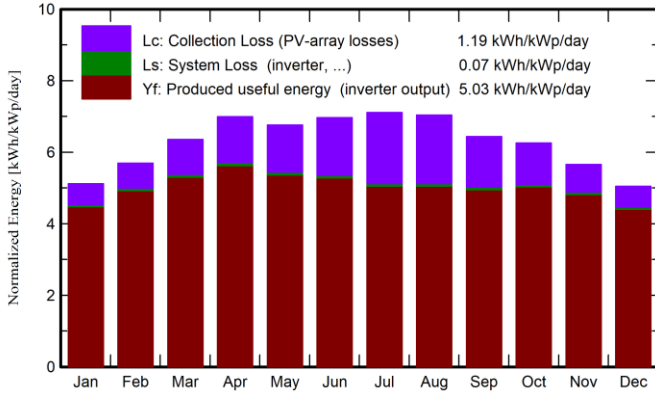
VC0, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

Main results

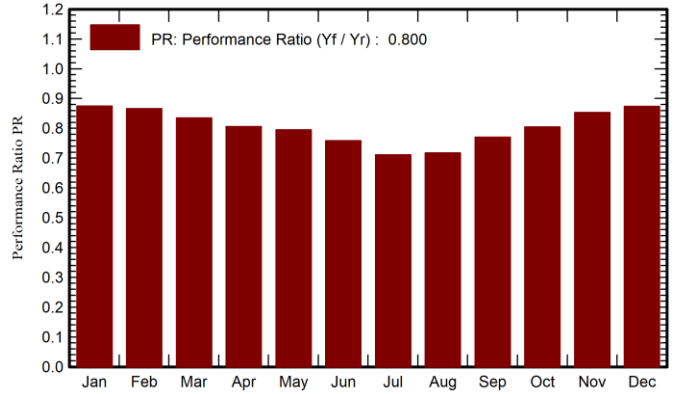
System Production

Produced Energy **527909 kWh/year** Specific production **1835 kWh/kWp/year**
 Perf. Ratio PR **79.95 %**

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	100.4	31.02	6.01	158.7	155.5	40526	39935	0.875
February	114.9	36.15	7.36	159.5	156.2	40316	39733	0.866
March	163.0	49.33	11.67	197.1	192.7	48001	47305	0.834
April	197.2	56.10	15.34	209.7	204.0	49314	48608	0.806
May	218.0	80.25	20.46	209.5	203.3	48557	47883	0.795
June	226.0	80.64	26.21	209.1	202.8	46256	45628	0.759
July	232.9	80.20	30.90	220.5	214.3	45704	45093	0.711
August	212.7	74.75	29.47	218.3	212.8	45698	45082	0.718
September	168.5	56.93	23.42	193.1	188.4	43381	42785	0.770
October	145.8	40.96	18.57	194.0	190.0	45547	44912	0.805
November	110.2	27.34	10.67	169.8	166.8	42248	41645	0.853
December	93.7	24.95	7.09	136.4	135.5	39975	39274	0.374
Year	1950.2	58.6	15.33	205.6	204.1	527909	527909	0.800

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



Project: aimen

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst .4.7
VC0, Simulation date:

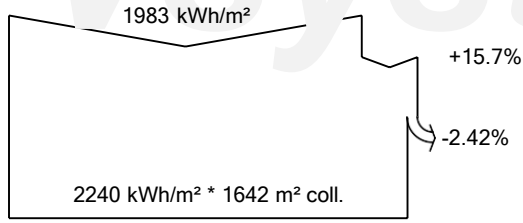
PVsyst TRIAL



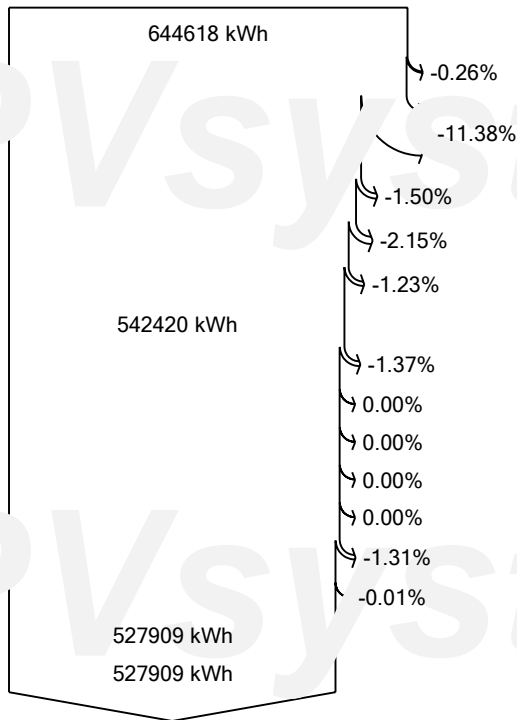
PVsyst V7.4.7

VCO, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

Loss diagram



efficiency at STC = 17.53%



Global horizontal irradiation

Global incident in coll. plane

IAM factor on global

Effective irradiation on collectors

PV conversion

Array nominal energy (at STC effic.)

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

Array virtual energy at MPP

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

Night consumption

Available Energy at Inverter Output

Energy injected into grid



Project: aimen

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst .4.7
VC0, Simulation date:

PVsyst TRIAL

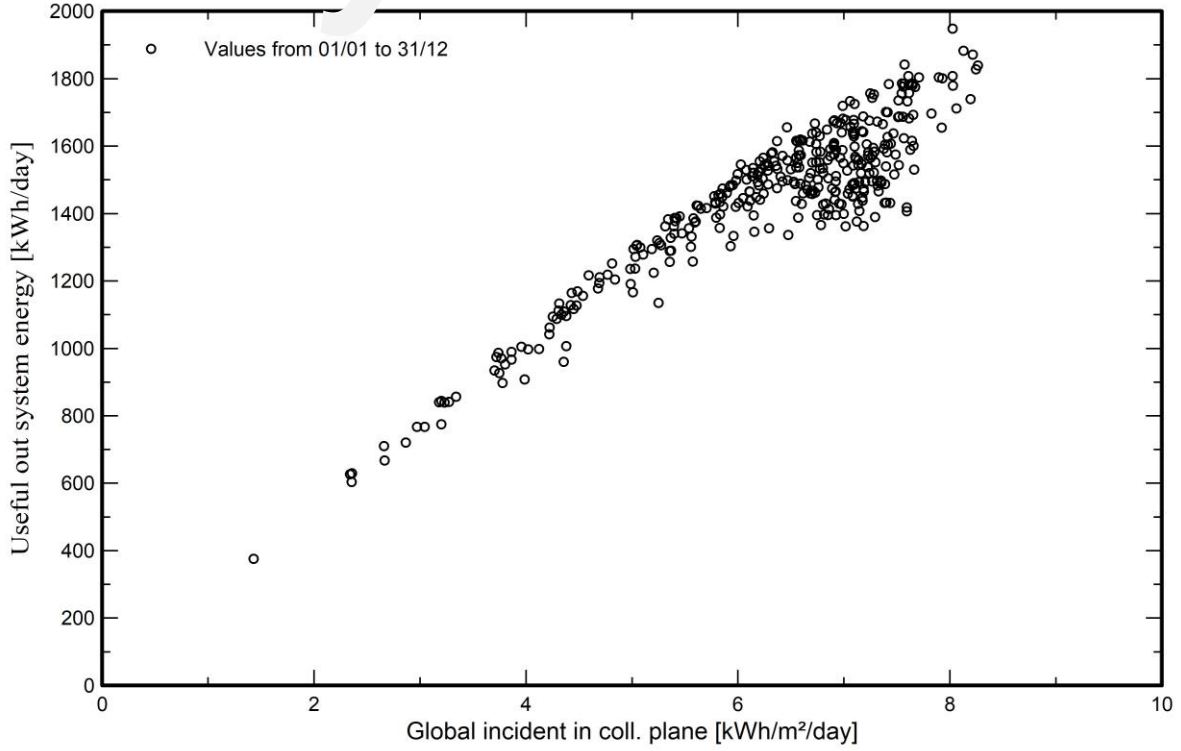


PVsyst V7.4.7

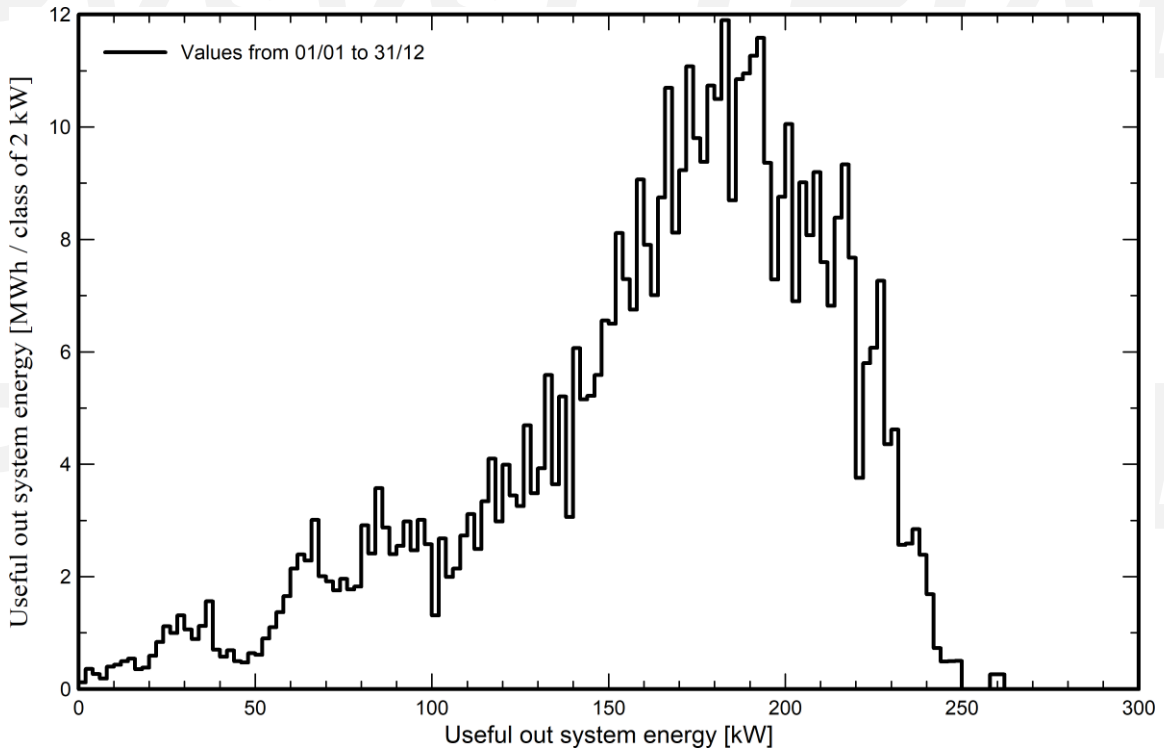
VC0, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

Predef. graphs

Diagramme d'entrée/sortie journalier



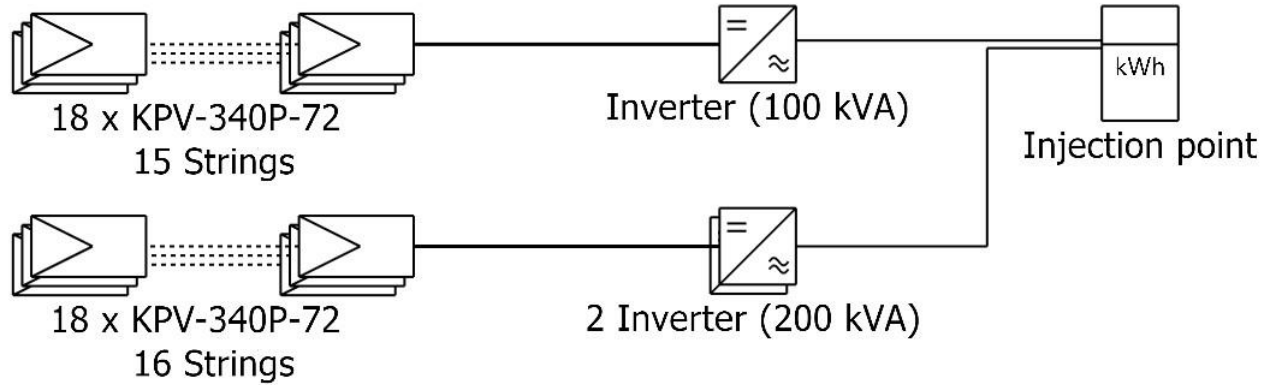
Distribution de la puissance de sortie système





PVsyst V7.4.7
VCO, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

Single-line diagram



PV module	KPV-340P-72
Inverter	Sunny Highpower SHP100-21-PEAK3
String	18 x KPV-340P-72

aimen

VCO : Nouvelle variante de simulation

27/06/24



PVsyst V7.4.7

VCO, Simulation date:
27/06/24 20:05
with V7.4.7

CO₂ Emission Balance

Total: -519938.0 tCO₂

Generated emissions

Total: 528127.95 tCO₂

Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions

Total: 9439.0 tCO₂

System production: 527.91 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 596 gCO₂/kWh

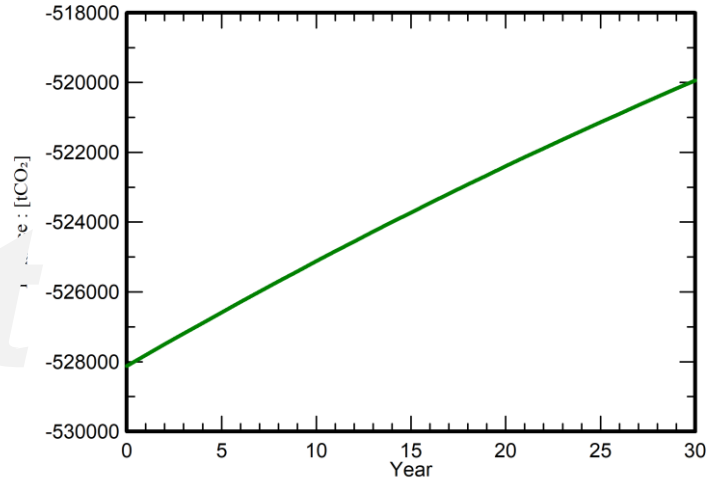
Source: IEA List

Country: Algeria

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO₂]
Modules	1662 kgCO ₂ /kWp	296358 kWp	492648836
Supports	3.98 kgCO ₂ /kg	8716400 kg	34650479
Inverters	394 kgCO ₂ /	2104	828633

