**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA**




**F**aculté de **T**echnologie

**D**épartement du **G**énie **Électrique**

## Mémoire de fin d'études de Master

Filière : **électrotechnique**

Spécialité : **Commandes Électriques**

# Gestion d'énergie dans un système autonome

Présentés par :

**MERZOUK MOHAMED**

**SABOUR AYOUB ABDERRAOUF**

Proposés et Dirigés par :

**Dr. YAHIAOUI ADEL**

**Promotion 2023**

# Remerciement

On tient tout d'abord à remercier Monsieur Dr, Yahiaoui Adel . On a particulièrement apprécié son savoir scientifique, ses diverses compétences, ses idées, sa disponibilité et d'avoir accepté de diriger, avec un grand professionnalisme la réalisation de ce mémoire.

On tient à lui exprimer toute ma reconnaissance pour la confiance qu'il nous a accordée et pour tous ses conseils et encouragements.

On remercie énormément notre ami Mohamed Abbasi pour nous avoir aidé par rapport à notre familiarisation avec le projet et de nous avoir accordé son précieux temps.

# Dédicace

Je dédie ce travail

A mon père pour avoir toujours été présent et m'avoir fourni le confort nécessaire à ma réussite, à ma mère pour avoir consacré sa vie à notre éducation et pour les nombreux sacrifices qu'elle a fait afin que nous en arrivions là.

Je tiens à remercier mon plus grand frère mahdi d'avoir été un exemple pour moi dans le domaine de la recherche et pour son soutien. Ainsi que mon frère ainé walid pour sa présence et sa permanente bienveillance.

A mes amis Imed, Sofiene, Sassou, Bilel, Amine, Wiam, Amira.

Je dédie ce travail a toutes les personnes qui ont contribué à ma réussite et à ma sérénité durant n'importe quelle période de ma vie.

# Dédicace

Je suis reconnaissant envers toutes ces personnes qui ont été là pour moi tout au long de mon parcours. Sans leur soutien, je n'aurais pas pu atteindre mes objectifs et réaliser mes rêves. Je suis fier de pouvoir dédier ce travail à ceux qui m'ont aidé à grandir et à devenir la personne que je suis aujourd'hui. Mon père et ma mère et bien sûr mon frère Islam et Abdalilah et mon petit frère Rayen et tous les amis. Je sais que je peux compter sur eux pour continuer à avancer dans la vie, et je leur suis éternellement reconnaissant pour tout ce qu'ils ont fait pour moi

## Résumé

La gestion autonome de l'énergie est un domaine en pleine croissance qui implique l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et des stratégies de contrôle intelligentes pour gérer la consommation d'énergie de manière autosuffisante. Alors que la demande d'énergie continue d'augmenter, il devient de plus en plus important de trouver des moyens nouveaux et innovants de gérer la consommation d'énergie. Les systèmes autonomes de gestion de l'énergie jouent un rôle essentiel pour répondre à ces demandes en fournissant une source d'énergie fiable pour les maisons, les entreprises et les communautés. Dans cet article, nous explorerons les composants d'un système énergétique autonome, l'importance de l'efficacité énergétique, ainsi que les défis et les solutions associés à la gestion autonome de l'énergie. Nous examinerons également des études de cas de déploiements réussis de systèmes énergétiques autonomes et discuterons de l'avenir de ce domaine passionnant.

## Abstract

Autonomous energy management is a rapidly growing field that involves the use of renewable energy sources and smart control strategies to manage energy usage in a self-sufficient manner. As the demand for energy continues to increase, it is becoming increasingly important to find new and innovative ways to manage energy consumption. Autonomous energy management systems play a critical role in meeting these demands by providing a reliable source of power for homes, businesses, and communities. In this article, we will explore the components of an autonomous energy system, the importance of energy efficiency, and the challenges and solutions associated with autonomous energy management. We will also examine case studies of successful deployments of autonomous energy systems and discuss the future of this exciting field.

## ملخص

إدارة الطاقة الذاتية هي مجال سريع النمو يتضمن استخدام مصادر الطاقة المتجددة واستراتيجيات التحكم الذكية لإدارة استخدام الطاقة بطريقة الاكتفاء الذاتي. مع استمرار زيادة الطلب على الطاقة، أصبح من المهم بشكل متزايد إيجاد طرق جديدة ومبتكرة لإدارة استهلاك الطاقة. تلعب أنظمة إدارة الطاقة المستقلة دورا مهما في تلبية هذه المطالب من خلال توفير مصدر موثوق للطاقة للمنازل والشركات والمجتمعات. في هذه المقالة، سوف نستكشف مكونات نظام الطاقة المستقل، وأهمية كفاءة الطاقة، والتحديات والحلول المرتبطة بإدارة الطاقة المستقلة. سوف ندرس أيضا دراسات حالة لعمليات النشر الناجحة لأنظمة الطاقة المستقلة ومناقشة مستقبل هذا المجال المثير.

**Les mots clés :**

Panneau solaire – panneau photovoltaïque – system autonome – gestion de stock – Matlab – Perturbe And Observe – Maximum Power Point Tracking.

# Sommaire

REMERCIEMENT ..... II
DEDICACE ..... III
RESUME ..... V
ABSTRACT ..... V
ملخص ..... V
SOMMAIRE ..... VII
LISTE DE FIGURE ..... IX
LISTE DE TABLEAU ..... XI
ABREVIATIONS ..... XI
INTRODUCTION GENERALE ..... 1

**CHAPITRE 1 : Généralité**

**1.1.** INTRODUCTION ..... 4
**1.2.** DEFINITION D'ENERGIE RENOUVELABLE ..... 4
**1.3.** GENERALITES ..... 4
**1.4.** TECHNOLOGIES DES CELLULES SOLAIRES ..... 6
**1.5.** PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ..... 6
**1.6.** TYPE DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES ..... 7
**1.7.** RENDEMENT D'UNE CELLULE ..... 8
**1.8.** STRUCTURE DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES ..... 9
**1.8.1.** UNE SERIE DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES (SOUS MODULE OU BRANCHE) ..... 9
**1.8.2.** MODULE (PANNEAU) PHOTOVOLTAÏQUE ..... 10
**1.9.** STRING ET CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE ..... 11
**1.10.** SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE ..... 11
**1.11.** SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES POUR L'HABITAT ..... 12
**1.12.** SYSTEMES PV CONNECTES AU RESEAU ..... 13
**1.13.** LE POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE ..... 13
**1.14.** CONCLUSION ..... 14

**CHAPITRE 2 : Dimensionnement du système**

**2.1.** DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....17
**2.2.** ÉVALUATION DES BESOINS (ÉTAPE 1).....17
**2.3.** LA TENSION DES RECEPTEURS.....17
**2.4.** LES BESOINS DE L'APPLICATION EN ENERGIE.....17
**2.5.** ESTIMATION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE.....18
**2.6.** ÉNERGIE SOLAIRE RECUPERABLE (ÉTAPE 2).....19
**2.7.** DEFINITION DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (ETAPE 3).....19
**2.8.** DIMENSIONNEMENT DU STOCKAGE (ETAPES 4).....19
**2.9.** PRODUCTION ELECTRIQUE D'UN MODULE EN UNE JOURNEE.....20
**2.10.** PERTES ELECTRIQUES.....27
**2.10.1**. TYPES DE PERTES.....27
**2.10.2.** Calcul DES PERTES.....28
**2.10.3.** ÉVALUATION DE $C_P$.....29
**2.11.** CALCUL PRATIQUE DE LA PUISSANCE PHOTOVOLTAÏQUE.....30
**2.12.** COMPOSITION DU CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE.....31
**2.13.** NOMBRE DES PANNEAUX.....31
**2.14.** DIMENSIONNEMENT DU STOCKAGE (ETAPES 4).....31
**2.14.1.** AUTONOMIE SANS APPORT SOLAIRE.....32
**2.14.2.** CALCUL DE LA CAPACITE BATTERIE.....32
**2.14.3.** PROFONDEUR DE DECHARGE.....33
**2.14.4.** CALCUL DE LA CAPACITE AVEC LE COEFFICIENT DE REDUCTION :.....33
**2.15.** STOCKAGE PHOTOVOLTAÏQUE.....33
**2.16.** CONCLUSION.....34

**CHAPITRE 3 : Modélisation des composants du système**

**3.1.** INTRODUCTION.....37
**3.2.** CONVERTISSEUR DC-DC.....37
**3.3.** HACHEUR DEVOLTEUR (BUCK).....38
**3.4.** CONVERTISSEUR BOOST.....38
**3.5.** HACHEUR DEVOLTEUR-SURVOLTEUR (BUCK-BOOST).....41
**3.6.** MATLAB SIMULINK.....41
**3.7.** LE MODEL AVERAGE BOOST SUR SIMULINK.....41
**3.8.** COMMANDES MPPT DES CONVERTISSEURS DC-DC.....42

**3.8.1.** PRINCIPE DE LA COMMANDE MPPT ..... 43
**3.8.2.** CLASSIFICATION DES COMMANDES MPPT ..... 44
**3.8.3.** CLASSIFICATION DES COMMANDES MPPT SELON LES PARAMETRES D'ENTREE ..... 44
**3.8.4.** COMMANDES MPPT FONCTIONNANTES A PARTIR DES PARAMETRES DE SORTIE ..... 45
**3.8.5.** CLASSIFICATION DES COMMANDES MPPT SELON LE TYPE DE RECHERCHE ..... 45
**3.8.6.** MPPT INDIRECT ..... 45
**3.8.7.** MPPT DIRECT ..... 45
**3.9.** LES ALGORITHMES MPPT ..... 46
**3.10.** COMMANDE MPPT PAR LA METHODE PERTURBATION ET OBSERVATION ..... 46
**3.11.** CONVERTISSEURS DC/AC ..... 48
**3.12.** STRUCTURE D'ONDULEUR ..... 49
**3.13.** LA COMMANDE MLI ..... 50
**3.14.** PRINCIPE DE MLI ..... 50
**3.15.** HACHEUR ELEVATEUR-ABAISSEUR (BUCK-BOOST) ..... 50
**3.16**. CONCLUSION ..... 54

**CHAPITRE 4 : Résultat de simulation**

**4.1.** INTRODUCTION ..... 56
**4.2.** PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA GESTION DE PUISSANCE ..... 56
**4.3**. LES COMPOSANTS UTILISES SONT ..... 57
**4.4.** SCENARIO DE LA SIMULATION ..... 59
**4.5.** RESULTAT DE SIMULATION ..... 60
**4.6.** CONCLUSION ..... 64
CONCLUSION GENERALE ..... 67
BIBLIOGRAPHIE ..... 70

## LISTE DE FIGURE

**FIGURE 1.1.** CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE [5] ..... 4
**FIGURE 1.2.** CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE [20]. ..... 5
**FIGURE 1.3.** MODULE PHOTOVOLTAÏQUE [21]. ..... 5
**FIGURE 1.4.** PANNEAU SOLAIRE [22] ..... 5
**FIGURE 1.5**. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ..... 6
**FIGURE 1.6** COUPE TRANSVERSALE D'UNE CELLULE PV TYPIQUE [23]. ..... 7
**FIGURE 1.7.** LES DIFFERENTS TYPES DE LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE [24] ..... 8
**FIGURE 1.8.** SOUS MODULE CONSTITUE DE $Ncs$ CELLULES CONNECTEES EN SERIES.[25] ..... 10

**FIGURE 1.9**. MODULE PHOTOVOLTAÏQUE.....10
**FIGURE 1.10** MODULE CONSTITUE DE $N_{ssm}$ SOUS MODULES MONTES EN SERIES [25]. .....10
**FIGURE 1.11** CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE COMPOSE DE $N_{st}$ STRINGS EN PARALLELE [25].....11
**FIGURE 1.12** SCHEMA FONCTIONNEL D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....11
**FIGURE 1.13** STRUCTURE D'UN SYSTEME PV AUTONOME [15].....12
**FIGURE 1.14** STRUCTURE D'UN SYSTEME PV CONNECTE AU RESEAU [15] .....13
**FIGURE 1.15 :** IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE REÇUE SUR PLAN INCLINE A LA LATITUDE DU LIEU MOYENNE ANNUELLE [17].....14
**FIGURE 2.1**: DEFINITION DE L'ORIENTATION ET DE L'INCLINAISON D'UN PANNEAU [28] .....19
**FIGURE 2.2 :** ENSOLEILLEMENT REÇUE A L'ANGLE OPTIMAL PENDANT LE MOIS LE MOINS FAVORABLEETOUTE L'ANNEE [29].....21
**FIGURE 2.3** : DESIGNATION DU PROJET DANS PVSYST .....22
**FIGURE 2.4 :** CONFIGURATION DU SYSTEME DANS PVSYST .....23
**FIGURE 2.5 :** DONNEES METEOROLOGIQUES .....24
**FIGURE 2.6:** LA CONSOMMATION D'UN JOUR POUR LA BIBLIOTHEQUE.....25
**FIGURE 2.7 :** IRRADIANCE ET TEMPERATURE .....26
**FIGURE 3.1.** SYMBOLE D'UN CONVERTISSEUR DC-DC.....38
**FIGURE 3.2.** SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BUCK .....38
**FIGURE 3.3 :** DIAGRAMME DE CONVERTISSEUR BOOST.....39
**FIGURE 3.4:** SCHEMAS EQUIVALENTS DE L'HACHEUR BOOST, (A) : K FERME, (B) : OUVERT.....39
**FIGURE 3.5 :** CARACTERISTIQUE DE LA TENSION ET DU COURANT DU HACHEUR BOOST. .....40
**FIGURE 3.6 :** SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN AVERAGE HACHEUR BOOST .....42
**FIGURE3.7 :** SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AVEC UNE COMMANDE MPPT .....42
**FIGURE 3.8 :** SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME PV PAR UNE COMMANDE MPPT ET UNE CHARGE. .....43
**FIGURE 3.9 :** PRINCIPE DE LA COMMANDE MPPT. .....44
**FIGURE 3.10** : PRINCIPE DE LA COMMANDE P&O.[38] .....47
**FIGURE 3.11** ALGORITHME DE PERTURBATION ET DE L'OBSERVATION (P&O).[38].....47
**FIGURE 3.12** SYMBOLE DE CONVERTISSEUR DC-AC MONOPHASE ET TRIPHASE .....48
**FIGURE 3.13**. SIMULATION DE COMMANDE MLI .....50
**FIGURE 3.14.** CONVERTISSEUR BUCK-BOOST .....51
**FIGURE 3.15.** SCHEMAS EQUIVALENTS DE L'HACHEUR DEVOLTEUR-SURVOLTEUR, (A) : K FERME, (B) : K OUVERT .....51
**FIGURE 3.16.** CARACTERISTIQUE DE LA TENSION ET DU COURANT DU BUCK-BOOST .....52

**FIGURE 3.17.** VERDAGE BUCK-BOOST CONVERTER. (SIMULINK-MATLAB) .....53
**FIGURE 4.1 :** SCHEMA DE PRINCIPE D'INSTALLATION PV BOOST CHARGE .....56
**FIGURE 4.2** ORGANIGRAMME DE GESTION D'ENERGIE .....57
**FIGURE 4.3 :** SCHEMA DE SIMULATION GLOBAL PV- HACHEUR BOOST-BUCK BOOST- ONDULEUR MLI- CHARGE VARIABLE .....58
**FIGURE 4.4.** CARACTERISTIQUE I-V ET P-V DES PANNEAUX UTILISES SOUS DIFFERENTES CONDITIONS .....59
**FIGURE 4.5.** IRRADIANCE ET TEMPERATURE .....60
**FIGURE 4.6.** LE COURANT DE SORTIE HACHEUR .....60
**FIGURE 4.7.** LA TENSION DE SORTIE HACHEUR .....61
**FIGURE 4.8.** LA PUISSANCE DE SORTIE HACHEUR .....61
**FIGURE 4.9.** VARIATION DE CHANGE .....61
**FIGURE 4.10.** VARIATION RESISTIVE .....62
**FIGURE 4.11.** LE COURANT CHARGE ET DECHARGE DE BATTERIE .....62
**FIGURE 4.12.** LA PUISSANCE CONSOMMEE PAR JOUR .....63
**FIGURE 4.13.** V BATTERIES, I BATTERIES, SOC, .....63
**FIGURE 4.14.** LES TENSIONS SIMPLES EXTRAITE DU RESEAU .....64

## LISTE DE TABLEAU

**TABLEAU 1.1 :** DIFFERENT TYPES DES CELLULES AVEC LEUR RENDEMENT. [10] .....8
**TABLEAU 1.2** TAUX D'ENSOLEILLEMENT POUR CHAQUE REGION DE L'ALGERIE [15]. .....14
**TABLEAU 2.1 :** BESOINS JOURNALIERE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE ESPACE DE LA BIBLIOTHEQUE .....18
**TABLEAU 2.2 :** CONSOMMATION DU MATERIEL EN SALLE DE .....19
**TABLEAU 2.3**. ENSOLEILLEMENT MENSUELLE MOYENNE POUR LA VILLE DE OUZERA, MEDEA .....27
**TABLEAU 2.4 :** RECAPITULATIF DES ENERGIES CONSOMMEES LA BIBLIOTHEQUE .....30
**TABLEAU 4.1 :** CARACTERISTIQUE ELECTRIQUE DU PANNEAU UTILISE EN CONDITION STC .....58

## Abréviations

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

DC : Direct Curant.

MPPT : Maximum Power Point Tracking

P&O : Perturbe And Observe.

PC :Personal Computer.

# INTRODUCTION GENERALE

# INTRODUCTION GENERALE

Les sources d'énergie renouvelables offrent une production propre d'énergie électrique utilisant la lumière du soleil, le vent, la biomasse, les raz de marée etc. La production d'énergie renouvelable a considérablement augmenté en raison aux préoccupations liées au changement climatique et à l'augmentation des prix du pétrole des prix.

La croissance des énergies renouvelables a été très constante au cours des deux dernières décennies. Non seulement l'augmentation les inquiétudes concernant le changement climatique et l'envolée du pétrole prix mais aussi le grand soutien des énergies renouvelables législation et incitations avec près de 150 milliards US Les dollars de 2007 ont apporté cette source alternative de production d'énergie électrique à la vue d'ensemble.

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire dans une centrale solaire photovoltaïque, qui alimente un réseau de distribution électrique [1].

Les systèmes photovoltaïques (PV) sont parmi les plus populaires sources d'énergies renouvelables. C'est une source d'énergie intéressante car il est non seulement renouvelable mais aussi inépuisable et non polluant contrairement aux énergies fossiles conventionnelles comme le charbon, le pétrole et gaz. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue [2].

Ces caractéristiques uniques ont fait de la puissance génération par des sources photovoltaïques l'un des plus sources d'énergie renouvelables populaires au cours de la dernière décennie. Le photovoltaïque convertit la lumière du soleil en énergie électrique en utilisant effet photoélectrique. Le rayonnement solaire est converti directement en l'électricité utilisable par les systèmes photovoltaïques. Photovoltaïque (PV) les systèmes sont constitués de modules photovoltaïques qui sont dispositifs semi-conducteurs qui convertissent le rayonnement solaire incident rayonnement directement en énergie électrique.

La puissance photovoltaïque dépend grandement sur l'irradiation solaire et la température. En conséquence le la puissance générée par les systèmes solaires n'est pas constante. Une part de cette conversion propre de l'énergie solaire en électricité l'énergie, une chose qui freine les photovoltaïques systèmes est leur manque de fiabilité. En fonction de différents niveaux et températures d'irradiation solaire, leur production taux varie. Par conséquent, en ajoutant une

source supplémentaire de puissance, la fiabilité de l'énergie solaire peut être considérablement augmentée où cette source d'énergie supplémentaire fonctionnera comme une sauvegarde source d'énergie. Chaque fois que la demande de charge ne sera pas entièrement atteinte par la source d'énergie solaire primaire, il sera soutenu par la source d'énergie de secours. Et d'autre part quand la demande sera inférieure à la production, le primaire la source solaire alimentera la source de secours.

Le principal objectif de ce travail est de modéliser et d'analyser une installation photovoltaïque système couplé à des systèmes de stockage d'énergie par batterie utilisant convertisseurs DC-DC bidirectionnel.

# Chapitre 01
# Généralités

## 1.1. Introduction

Le soleil est une source d'énergie inépuisable pouvant satisfaire nos besoins enconsommation énergétique. Alors, il est possible de mettre au profit de la population sa diffusion sur l'ensemble de la planète, en extrayant son énergie importante grâce à l'utilisation des cellules photovoltaïques. Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties : ***Photos*** : Lumière ; ***Volt*** : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta [3]. L'effet photovoltaïque fut découvert en 1839 par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première vraie cellule photovoltaïque fut développée au début de l'année 1954.

Toutefois, ce n'est qu'au début des années 70 que les premiers générateurs photovoltaïques furent utilisés pour l'alimentation en énergie les habitations en sites isolés et des équipements de télécommunications [4]. Par la suite, l'avance de la recherche dans le domaine des énergies renouvelables a permis l'amélioration de la fiabilité et de mettre en place des concepts respectueux de l'environnement des systèmes photovoltaïques ce qui leurs a accordé une considération prépondérante dansles systèmes de production d'énergie électrique.




**Figure 1.1.** Conversion photovoltaïque [5]

## 1.2. Définition d'énergie renouvelable

L'énergie solaire est une énergie renouvelable et qui est considérée comme une source essentielle de l'électricité parmi les autres sources naturelles tels que le vent, le soleil etc.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le soleil [7].

## 1.3. Généralités

Le processus de conversion photovoltaïque est assuré par une cellule photovoltaïque ou cellule solaire ou photopile qui est l'élément de base de la conversion photovoltaïque. La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développé aux Etats-Unis en 1954 par les chercheurs de laboratoire Bell.

Les cellules photovoltaïques connectées ensembles et encapsulée sous du verre forment un module solaire qui peut fournir une quantité d'électricité suffisante pour certains appareils de faible consommation (lampe, radio, télévision) [5].



**Figure 1.2.** Cellule photovoltaïque [20].



**Figure 1.3.** Module photovoltaïque [21].

Plusieurs modules solaires peuvent être groupés pour former un panneau solaire. Plus le panneau est grand, plus la quantité d'électricité qu'il produit est grande. Ces panneaux eux-mêmes sont associés pour former le champ photovoltaïque. Le terme générateur photovoltaïque est réservé à l'ensemble producteur d'énergie qui comprend donc le champ photovoltaïque, le stockage d'énergie, l'électronique de gestion (ou contrôle) et l'élément de conversion en alternatif [6].



**Figure 1.4.** Panneau solaire [22].

## 1.4. Technologies des cellules solaires

Les matériaux photovoltaïques se scindent en deux grandes familles, les matériaux solides cristallisés et les couches minces. Ces couches minces sont également solides, mais d'épaisseur nettement plus faible (de l'ordre du micron et en deçà) et déposées sur un support, alors que les photopiles cristallines sont massives et épaisses de 0.15 - 0.4 mm les cellules les plus répandues actuellement sont à base de silicium (différence de potentiel de *0,6 V*) [7].

## 1.5. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques assurent la conversion directe de l'énergie des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur tel que le silicium. Cependant, à l'état pur le semi-conducteur ne conduit pas bien le courant.

Afin d'améliorer la conductivité, le dopage des cristaux de silicium est indispensable. Cette phase se résume à leur incorporer d'autres atomes. Alors, on distingue deux types de silicium. La face exposée au soleil est dopée avec des atomes de phosphore, qui possèdent plus d'électrons, et dite dopée de type N. L'autre face est dopée par des atomes de bore qui possèdent moins d'électrons que le silicium. D'où la nomenclature type P. La région délimitant ces deux zones constitue une jonction PN. En parcourant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium, créant ainsi des trous. Les électrons vont migrer vers la zone N, tandis que les trous se dirigent vers la zone P. D'où la naissance d'une différence de potentiel et d'un courant électrique qui circule. Montre une coupe transversale d'une cellule photovoltaïque.

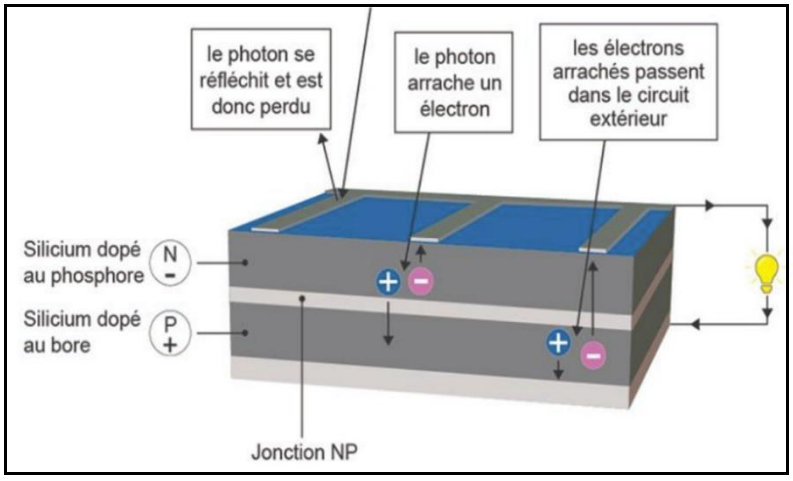



**Figure 1.5**. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

**Le principe de conversion photovoltaïque**

➢ Comment fonctionne une cellule solaire photovoltaïque ?

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle composée de matériaux semi-conducteurs est capable de convertir l'énergie de photons reçus à sa surface en une déférence de potentiel, créée par une délocalisation d'électrons dans le matériau. La circulation des électrons dans le circuit extérieur permet à la cellule photovoltaïque de fonctionner comme un générateur. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilise et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et de son vieillissement [28].

Le matériau de base est dans la plupart des cas le silicium**.** Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, polycristalline ou monocristalline [29].

On appelle cellule solaire un convertisseur qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque [30].

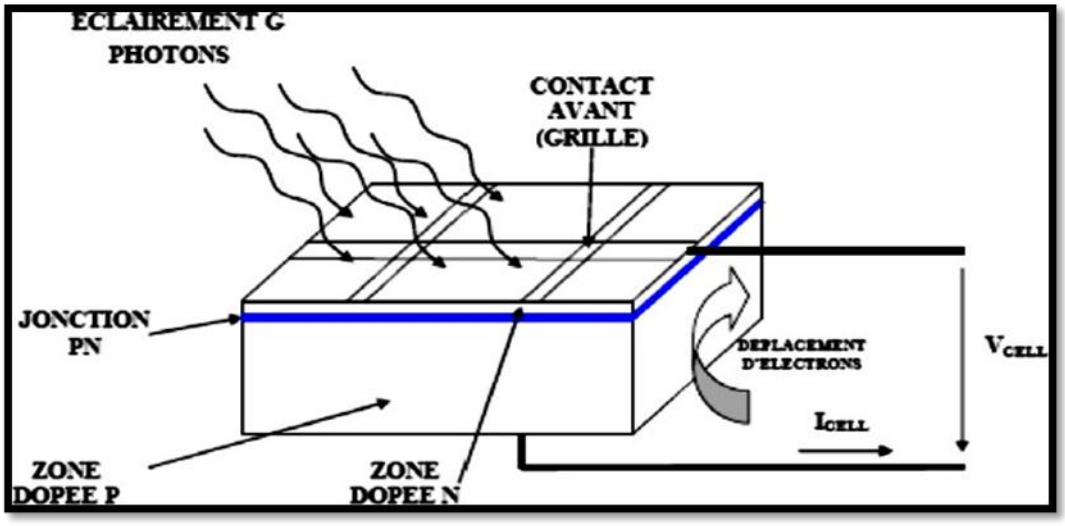



**Figure 1.6** Coupe transversale d'une cellule PV typique [23].

## 1.6. Type des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [9] :

- **Cellules monocristallines** : C'est la première génération de photopiles, elles ont un excellent rendement ainsi une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère.

- **Cellules polycristallines** : Un rendement élevé et un coût de production moins élevé ainsi un procédé nécessitant moins d'énergie.

- **Cellules amorphes** : Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que les calculatrices solaires ou encore les montres.

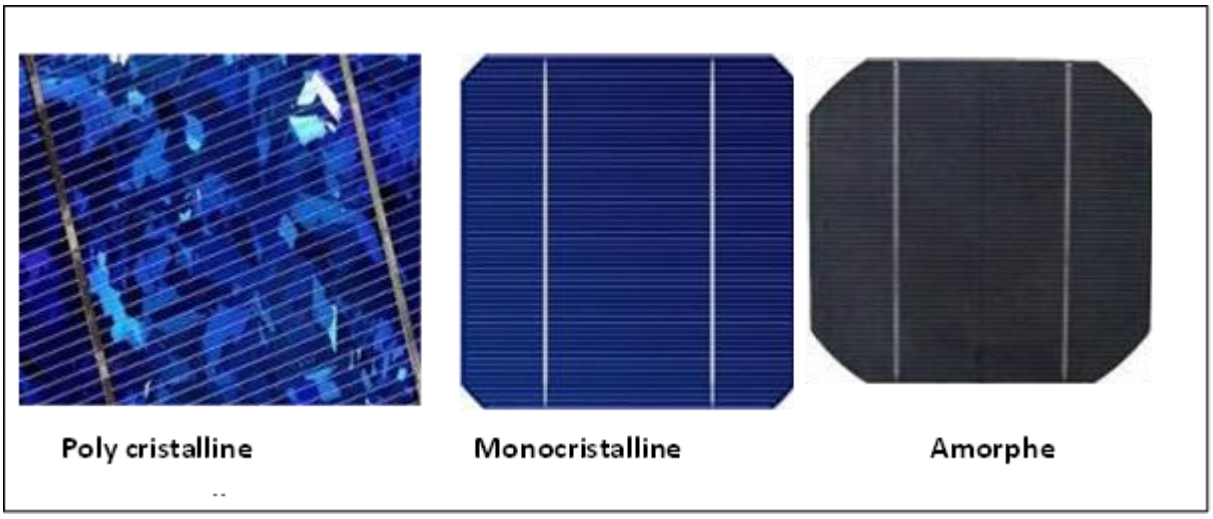



**Figure 1.7.** Les différents types de la cellule photovoltaïque [24].

## 1.7. Rendement d'une cellule

Le tableau suivant (1.1) présente les différents types de cellules avec leur rendement.

**Tableau 1.1 :** Différent types des cellules avec leur rendement. [10]

| Technologie de cellules | Rendement en laboratoire (%) | Rendement production (%) |
|---|---|---|
| Silicium amorphe (a-Si) | 13 | 5 à 9 |
| Silicium polycristallin (p-Si) | 19,8 | 11 à 15 |
| Silicium monocristallin (m-Si) | 24,7 | 13 à 17 |

L'expression du rendement est donnée comme suite :

$$^{\eta}STC = \frac{Pm}{STC\ cellule} \qquad (1.1)$$

Où :

$^{\eta}{}_{STC}$ : Rendement de la cellule photovoltaïque;

$P_m$ : Puissance produite par le générateur PV;

$S_{cellule}$ : Surface de la cellule [m²] ;

$E_{STC}$ : Éclairement absorbé par la cellule

Ce rendement dépend de plusieurs facteurs [10]:

- Réflexion à la surface.
- Température de jonction des cellules.
- Type de matériau utilisé et technique de fabrication.
- La résistance série et parallèle responsables des pertes par effet Joule.
- Absorption incomplète et excès d'énergie des photons absorbés.

## 1.8. Structure des panneaux photovoltaïques

Généralement les cellules photovoltaïques sont associées pour constituer un panneau. Ces derniers sont regroupés en série ou bien en parallèle selon la puissance demandée. Pour protéger les modules PV contre le point chaud (hot-spot) à cause d'un déséquilibre d'éclairement il faut monter une diode au silicium "diode de by-pass" en parallèle tête-bêche (figure 1.8) sur une branche en général de dix-huit cellules en série, cette diode sera conductrice dans le cas de l'ombrage d'une ou plusieurs cellulesdans une branche et bloquée dans le cas normal [7].

### 1.8.1. Une série de cellules photovoltaïques (sous module ou branche)

On dénomme sous module ou bien branche l'ensemble de cellules en sériesconnectées en parallèle avec une diode de protection (figure1.8), [11].

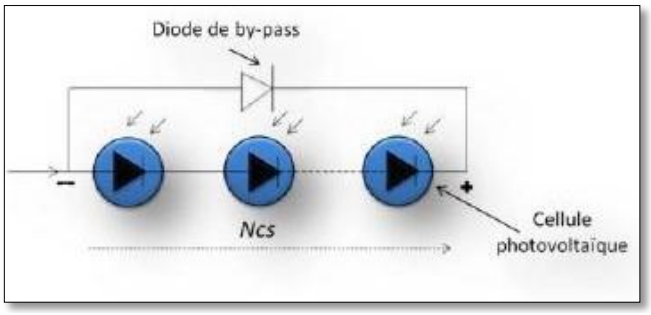



**Figure 1.8.** Sous module constitué de $Ncs$ cellules connectées en séries.[25]

Avec : $N_{cs}$ *:* nombre de cellules en séries.

## 1.8.2. Module (panneau) photovoltaïque

Modules photovoltaïques Le module photovoltaïque se compose d'un certain nombre de cellules solaires, qui est installé en série et en parallèle dans une armature comme est représenté sur la figure 1.9. Comme le module se compose de groupe de cellules, le modèle d'un module photovoltaïque est basé sur le modèle de la cellule solaire.

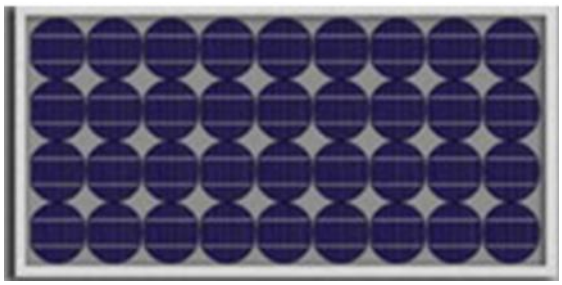


**Figure 1.9**. Module photovoltaïque

Le module est constitué d'un groupe de sous modules connectés en série pouravoir une tension plus ou moins élevée [12] [13].

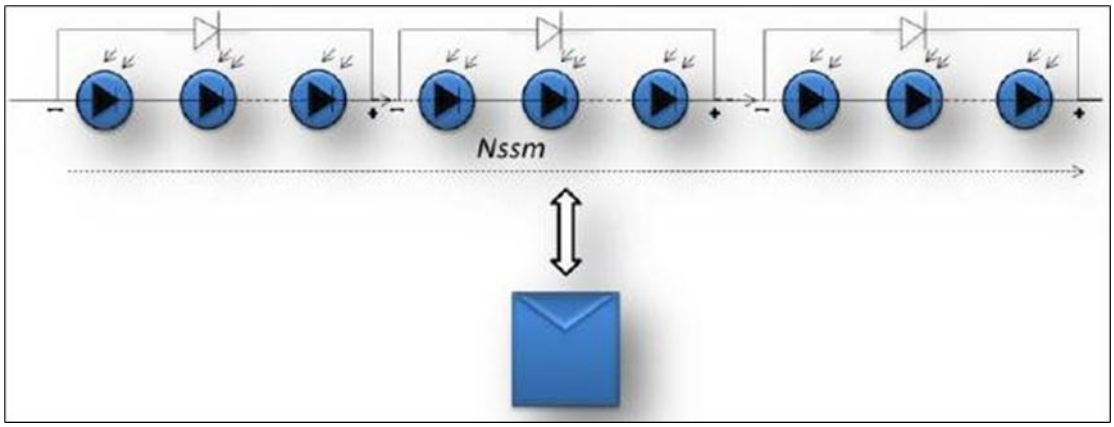



**Figure 1.10** Module constitué de $N_{ssm}$ sous modules montés en séries [25].

Avec : $N_{ssm}$ : Le nombre total des sous-modules connectés en série.

## 1.9. String et champ photovoltaïque

Suivant la puissance du panneau, le string est constitué de plusieurs modules connectés généralement en série. Ces strings sont connectés en parallèle pour former un champ photovoltaïque. Pour éviter qu'une branche de cellules connectées en série ne reçoive de l'énergie d'autres strings connectés en parallèle, il faut installer dans chacune des branches des diodes en série (diode anti retour) comme indiquée dans la figure (1.11) [7].

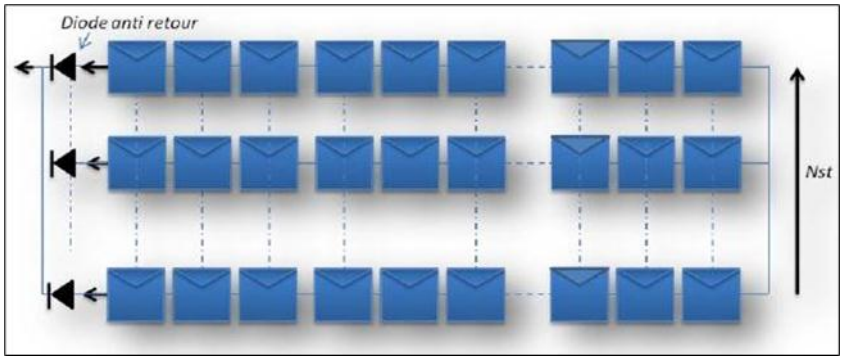



**Figure 1.11** Champ photovoltaïque composé de $N_{st}$ strings en parallèle [25].

Avec : $N_{st}$ : le nombre de strings branchés en parallèle.

## 1.10. Système photovoltaïque

Un système photovoltaïque comporte plusieurs parties, il se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs (charge, injection dans le réseau). Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale [7].

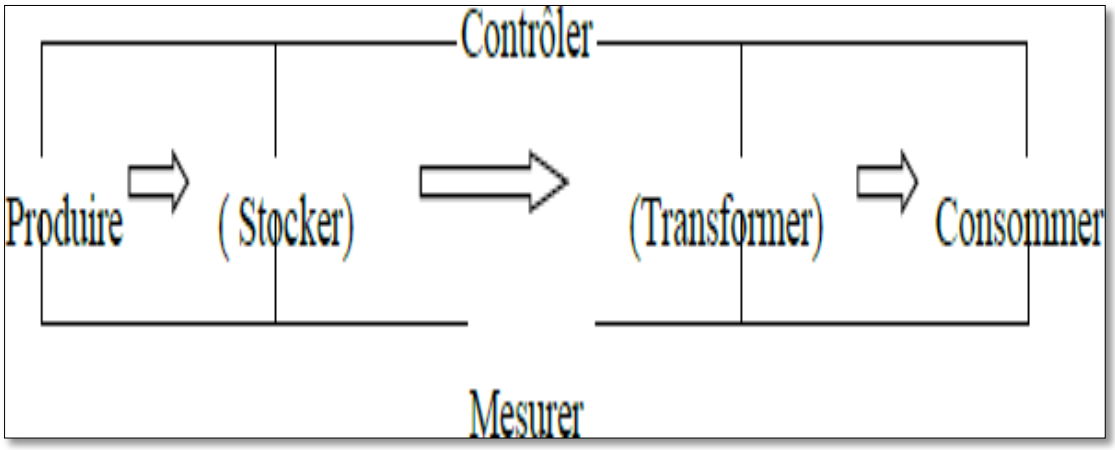



**Figure 1.12** Schéma fonctionnel d'un système photovoltaïque.

## 1.11. Systèmes photovoltaïques pour l'habitat

Les systèmes PV sont classés en deux grandes catégories selon la manièredont l'énergie est utilisée. [14]

- Systèmes isolés et autonomes
- Systèmes raccordés au réseau

**Systèmes PV isolé (autonome)**

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. Comme on le remarque sur la figure (1.13) qui représente l'exemple d'un système PV autonome, unsystème de stockage est associé au générateur PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement. La gestion de l'énergie dans les systèmes PV autonomes est encore un thème de recherche très présent dans le domaine du photovoltaïque. Nous nous inspirerons de ces études pour notre application [15].

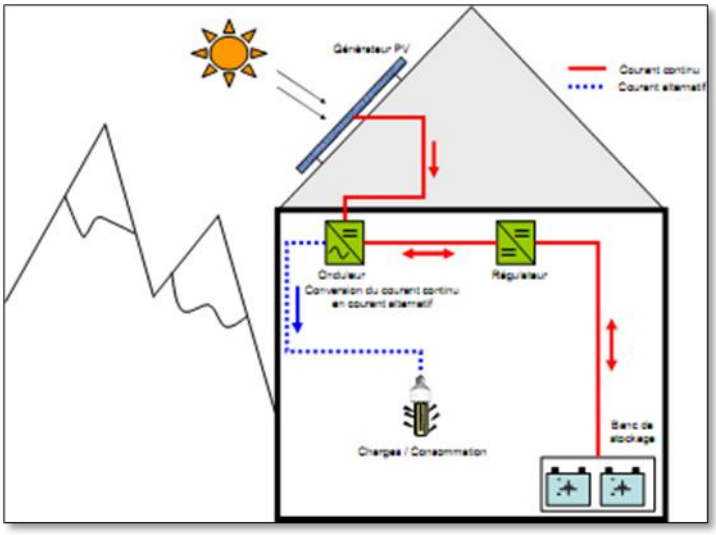



**Figure 1.13** Structure d'un système PV autonome [15].

## 1.12. Systèmes PV connectés au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

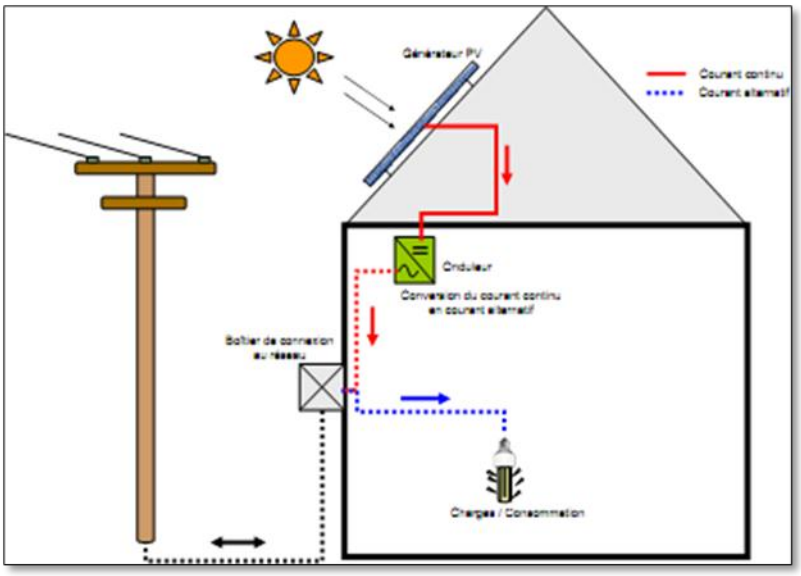



**Figure 1.14** Structure d'un système PV connecté au réseau [15]

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers d'un onduleur et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Car il doit respecter des normes sur sa qualité « sinusoïdale ».

## 1.13. Le potentiel solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires parmi les plus élevés au monde. Le tableau 1-2, montre la durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national qui dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national (Figure 1.14), soit près de $1700KWh/m^2$/an au Nord et 2263 kWh $/m^2$/an au Sud. Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh [16-17].

**Tableau 1.2** Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie [15].

| **Régions** | **Régions côtières** | **Hauts plateaux** | **Sahara** |
|---|---|---|---|
| **Superficie** | 4% | 10% | 86% |
| **Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)** | 2650 | 3000 | 3500 |
| **Énergie moyenne reçue (KWh/m2/an)** | 1700 | 1900 | 2650 |

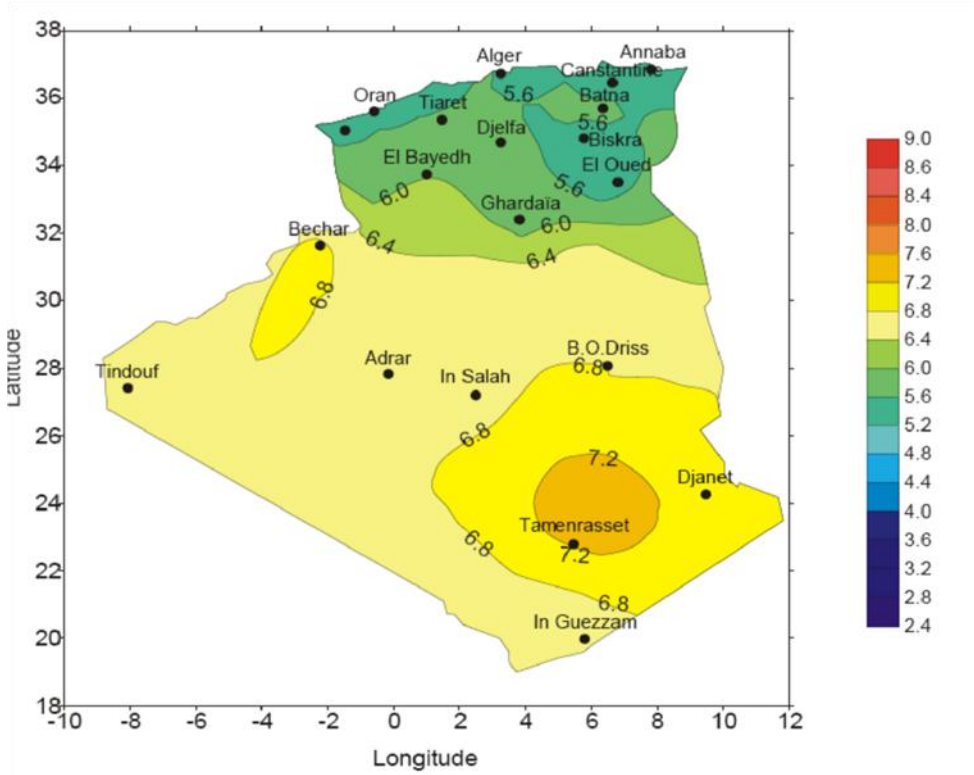



**Figure 1.15 :** Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu moyenne annuelle [17].

## 1.14. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les différents composants qui composent un système photovoltaïque, y compris les cellules et les modules photovoltaïques, ainsi que leurs différentes connexions. Nous avons également discuté des différents types de systèmes photovoltaïques, tels que les systèmes autonomes, connectés au réseau et hybrides. De plus, nous avons étudié les différentes technologies utilisées dans les composants du système photovoltaïque. Nous avons identifié les avantages et les inconvénients des systèmes photovoltaïques en général. Avec cela, nous avons fourni un aperçu complet des systèmes photovoltaïques, couvrant tout, de leurs composants de base à leurs diverses applications et technologies. À la fin de cet article, les

lecteurs devraient avoir une solide compréhension des avantages et des inconvénients des systèmes photovoltaïques, ainsi que des différents types de systèmes disponibles. Que vous soyez un propriétaire cherchant à installer un système photovoltaïque sur votre propriété ou un propriétaire d'entreprise intéressé à intégrer les énergies renouvelables dans vos opérations, cet article est une ressource essentielle pour toute personne intéressée par le monde des systèmes photovoltaïques.

# Chapitre 02
# Dimensionnement du système

# CHAPITRE 2 : Dimensionnement du système

## 2.1. Dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le dimensionnement d'un champ photovoltaïque est un art difficile dans la mesure où il nécessite beaucoup des compétences et des disciplines. Le travail consiste a élaboré un dimensionnement des installations de la centrale, en prennent en considération tout les paramètres, en gardant aussi le même choix de l'entreprise en ce qui concerne les types des équipements. Le choix des paramètres de projet dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la puissance de consommation.

Les étapes ci-dessous nous présentent de façon détaillée la démarche à suivre pour dimensionner un système photovoltaïque autonome au niveau des panneaux et des batteries.

- Étape 1 : Détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance desappareils et durées d'utilisation.

- Étape 2 : Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.

- Étape 3 : Définition des modules photovoltaïque, tension de fonctionnement,technologie, puissance totale à installer.

Étape 4 : Dimensionnement du stockage (Etapes 4)

## 2.2. Évaluation des besoins (Étape 1)

Le kWh solaire est cher, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moindre, car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

## 2.3. La tension des récepteurs

L'énergie photovoltaïque étant en courant continu, l'idéal est que les appareils à alimenter fonctionnent aussi en continu. Plus le champ photovoltaïque est puissant, plus il faudra choisir une tension élevée pour éviter les intensités trop fortes, il n'est donc pas toujours facile de la choisir approprier.

## 2.4. Les besoins de l'application en énergie

Évaluer sérieusement nos besoins en énergie permet que l'on dispose d'un système bien adapté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de batterie.

La puissance « P » est une donnée instantanée par contre l'énergie « E » c'est le produit de la puissance par le temps « t » : $E = P. t$ (2.1)

Relation qui permet de calculer les besoins journaliers en énergie de nos applications.

En effet, comme un système photovoltaïque fournit son énergie le jour, il est Naturel de prendre la période de 24h comme unité de temps. On notera $\mathbf{E_{cons}}$ l'énergie électrique consommée en 24h par l'application, en Wh/j. on l'appelle consommation Journalière.

Pour calculer la consommation totale de nos applications, on calcule l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil ou chaque fonction électriques et on les additionne :

$$E_{cons} = P_1 . t_1 \qquad (2.2)$$

Lorsque tous les appareils fonctionnent à la même tension, la consommation journalière peut également se chiffrer en ampère heure « Ah », unité plus pratique pour les systèmes liés à une batterie.

## 2.5. Estimation de la consommation d'énergie électrique

-Besoins journalière

Les équipements électriques de la bibliothèque sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 2.1 :** Besoins journalière la consommation d'énergie électrique Espace de la Bibliothèque

| **Equipment électrique** | **Nombre de pièce** | **Durée de fonctionnement[h]** | **Puissance unitaire [W]** | **Puissance totale[W]** | **Énergie [Wh/j]** |
|---|---|---|---|---|---|
| Lampes néon | 200 | 12 | 18 | 3600 | 43200 |
| Ordinateur et pc | 20 | 2.5 | 125 | 2500 | 6250 |
| TV | 1 | 3 | 100 | 100 | 300 |
| Imprimante | 6 | 1 | 702 | 4212 | 4212 |
| Modem | 3 | 24 | 5 | 15 | 360 |
| TOTA | | | | 13377 | 54322 |

En tenant compte des puissances des équipements et du temps d'utilisation, nous obtenons une consommation journalière de Ec = 54.322 kWh/j.

**Tableau 2.2 :** Consommation du matériel en salle de

| Bâtiments concernés | **Espace de la bibliothèque** |
|---|---|
| Puissance totale consommée | Wh/j 54.322Wh/j |

## 2.6. Énergie solaire récupérable (Étape 2)

## Orientation et inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, sud-ouest…). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés, figure (2.1).

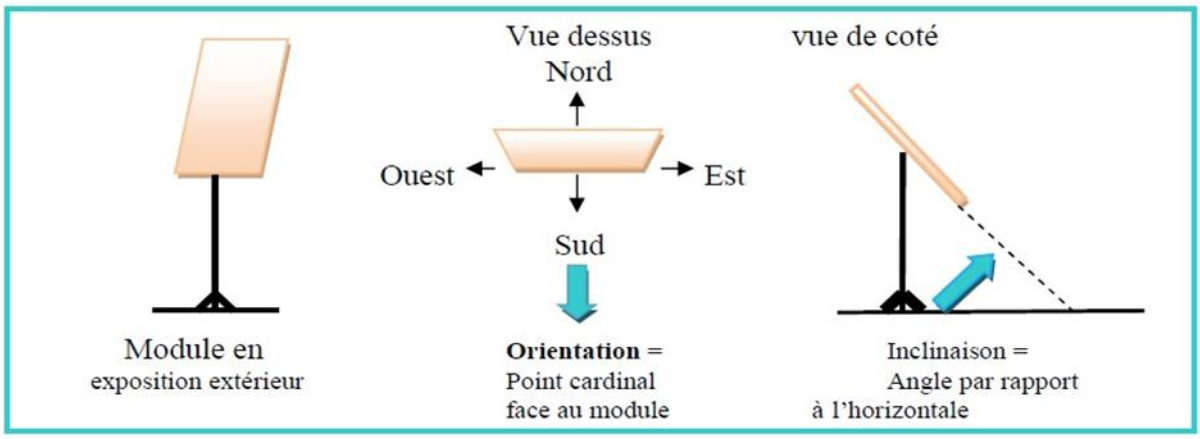



**Figure 2.1**: Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau [28]

## 2.7. Définition des modules photovoltaïques (Etape 3)

Si le soleil est la seule source d'énergie du système autonome, sans générateur d'appoint, les modules photovoltaïques doivent alors fournir toute l'énergie consommée, en incluant les pertes à tous les niveaux. La batterie est une capacité tampon qui permet de stocker cette énergie pour en disposer en dehors des périodes de production photovoltaïque, mais elle ne sera jamais une source d'énergie en tant que telle.

## 2.8. Dimensionnement du stockage (Etapes 4)

Dimensionner la batterie, c'est choisir un stockage « tampon » permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires, à l'échelle de l'heure, de la journée (elle assure le fonctionnement nocturne) et de quelques jours de mauvais temps. Le choix de la capacité nominale dépend grandement de la technologie (batterie fermée, ouverte, AGM, gel…) par les

variations de capacité avec la température, le nombre de cycles, la durée de vie, etc. De plus, le choix d'une batterie relève aussi d'une stratégie économique. Et encore ici la politique à adopter est différente dans les pays chauds et dans les pays tempérés.

La batterie est souvent le composant le moins durable d'un système photovoltaïque. Il faudra donc la remplacer avant les panneaux, si l'on souhaite une grande fiabilité et une longue durée de vie. En revanche, pour les applications peu sollicitées ou situées dans des zones très chaudes, on peut être amené à prendre des batteries moins chères (batteries solaires à plaques, ou même des batteries de voiture, disponibles partout), car il est probable que la corrosion vienne à bout des électrodes assez rapidement quelle que soit la technologie. Le tableau 7 nous explique les caractéristiques de chaque type de batterie.

Les batteries peuvent être munis de bouchons par feu qui recombinent l'hydrogène et l'oxygène pour diminuer la gazéification des batteries, offrent également une meilleure protection aux batteries contre les flammes et les étincelles. Une inspection des batteries peut se faire sans leur retrait. Ils conviennent à la majorité des batteries acide-plomb de 6 et12 V.

## 2.9. Production électrique d'un module en une journée

Un module photovoltaïque se caractérise avant tout par sa puissance crête $P_c$ (W), puissance dans les conditions STC (1000 W/m$^2$ à 25 °C). Si le module est exposé dans ces conditions STC, il va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête, et si cela dure N heures, il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique $E_{prod}$ égale au produit de la puissance crête par le temps écoulé :

$$E_{prod} = N \times P_c \quad (2.3)$$

**$E_{prod}$ :** Énergie électrique produite (Wh)

**N :** Nombre d'heures d'exposition aux conditions STC (h)

**$P_c$ :** La puissance crête (W)

Grâce à la valeur du rayonnement de référence (1000W/m$^2$), le nombre d'heures équivalentes se trouve numériquement égale à l'énergie solaire intégrée que l'on exprime en kWh/m$^2$/ j.

$$E_{sol} = N_e \times 1000 \quad (2.4)$$

**$E_{sol}$ :** Énergie solaire journalière par unité de surface (Wh/m$^2$/j)

**$N_e$ :** Nombre d'heures équivalentes (h/j)

**1000** W/m$^2$ : Puissance dans les conditions STC

La carte géographique dans la figure 2 nous renseigne sur l'ensoleillement reçu à l'angle

optimal pendant le mois le moins favorable de toute l'année qui est le mois de décembre, on peut alors trouver directement l'énergie solaire journalière par unité de surface pour notre ferme qui se trouve dans la région d'Médéa qui est de 3 à 4 kWh/m$^2$/jour.

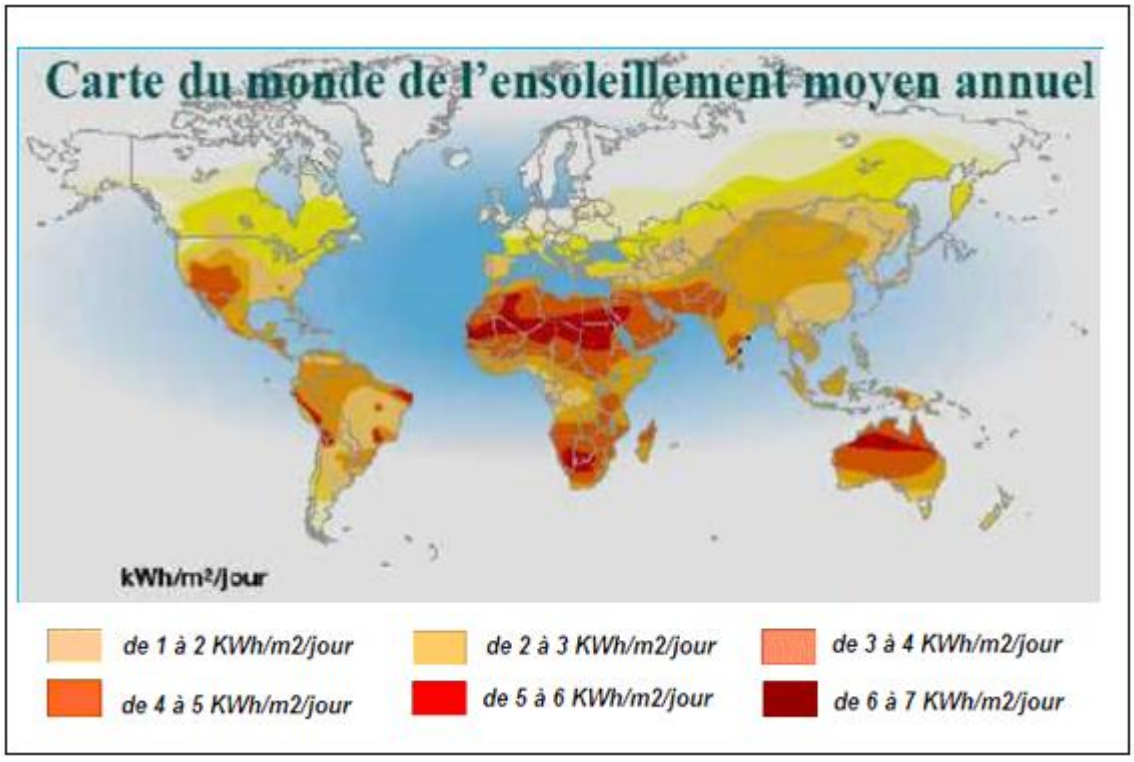



**Figure 2.2 :** Ensoleillement reçue à l'angle optimal pendant le mois le moins favorable de toute l'année [29]

Sur le tableau suivant on assimile l'illumination solaire reçue du rayonnement 1000 W/m$^2$ (conditions STC) par un certain nombre d'heures équivalentes

« $N_e$ » sur les 12 mois de l'année pour la ville d'Médéa. Ces données ont été relevées de l'atlas solaire d'Algérie pour notre étude sur le calcul de la puissance crête pour le choix du nombre de modules que l'on doit avoir.

On suppose ensuite que la puissance du panneau est directement proportionnelle au rayonnement instantané, ce qui est vrai en première approximation si le panneau a suffisamment de tension. On peut alors multiplier la puissance crête du panneau solaire parce nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production du module photovoltaïque pendant cette journée :

$$E_{prod} = N_e \times P_c \qquad (2.5)$$

**$E_{prod}$ :** *Énergie électrique produite dans la journée (Wh/j)*

**$N_e$ :** *Énergie solaire journalière (h/j)*

**$P_c$ :** *puissance crête (W)*

Seulement, ces calculs ainsi déduits ci-dessus ne sont vrais que pour un panneau isolé, dans les conditions idéales. Il ne tient pas compte des pertes inévitables d'un systèmecomplet, dans les conditions réelles. Ces pertes ont plusieurs origines et affectent certains paramètres du système. C'est ce que nous détaillerons maintenant.

Pour un projet donné (définissant site et météo), on peut construire plusieurs variations de notre système

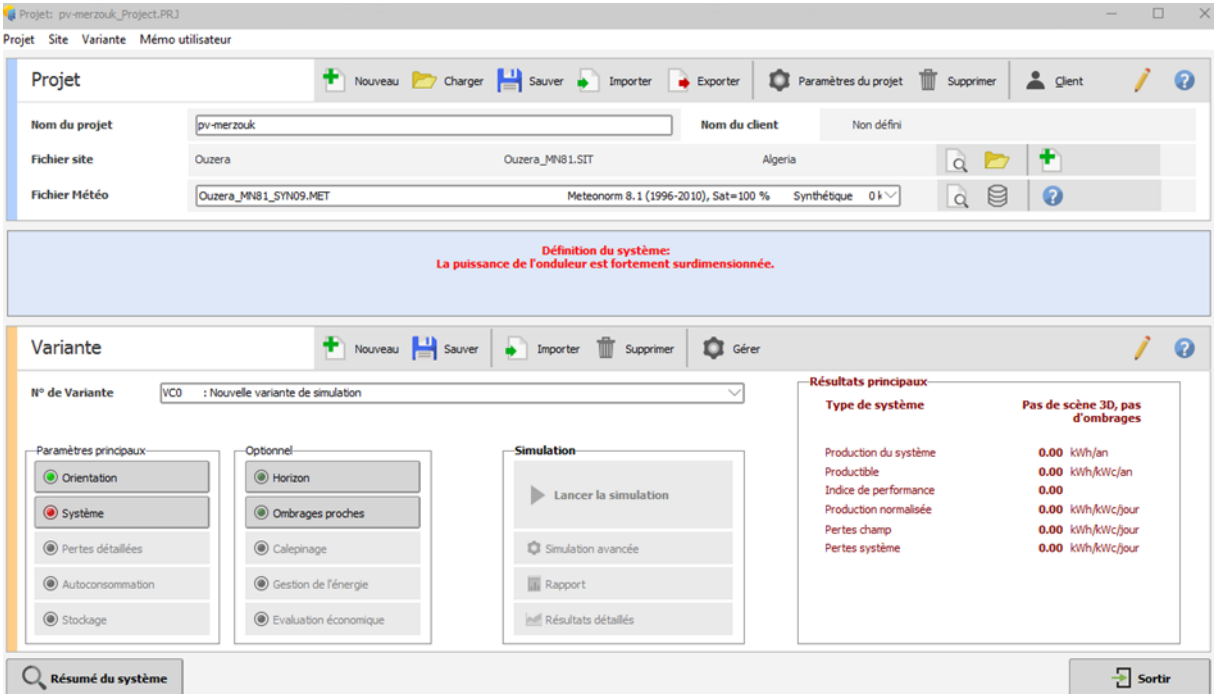



**Figure 2.3** : Désignation du projet dans PVSYST

. Conception/dimensionnement du système :

La conception de 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 permet de réaliser une première.

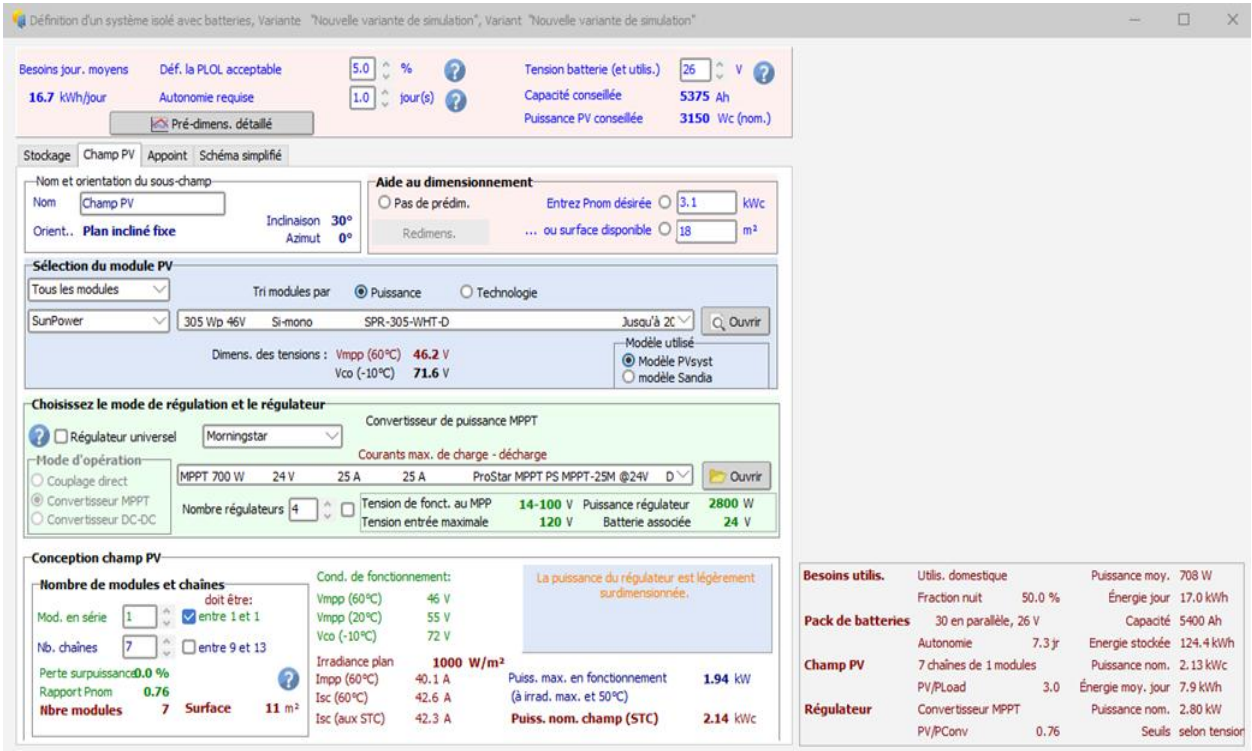



**Figure 2.4 :** Configuration du système dans PVSYST

– Données météorologiques

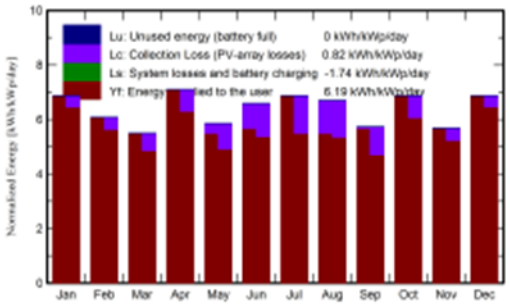
L'étape essentielle d'ans la conception d'un système de production d'énergie électrique par une source d'énergie renouvelable est la détermination de la taille optimale du système de conversion, qui dépend essentiellement du gisement énergétique renouvelable disponible, en effet les donnes climatiques du site.

On utilise le programme (PVGIS,FRANCH.WUNDERGROUND) pour prendre les irradiations sur un plan avec inclinaison optimale (Wh/m$^2$/jour) Et la température moyenne de lieu programme.

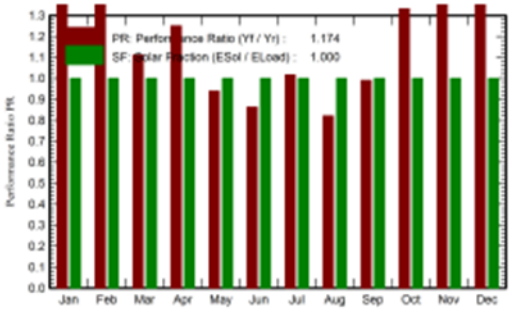
**System Production**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Available Energy | 4296 kWh/year | Performance Ratio PR | 117.38 % |
| Used Energy | 6199 kWh/year | Solar Fraction SF | 100.00 % |
| Excess (unused) | 0 kWh/year | | |
| **Loss of Load** | | **Battery aging (State of Wear)** | |
| Time Fraction | 0.0 % | Cycles SOW | 98.4 % |
| Missing Energy | 0 kWh/year | Static SOW | 90.0 % |

**Normalized productions (per installed kWp)**



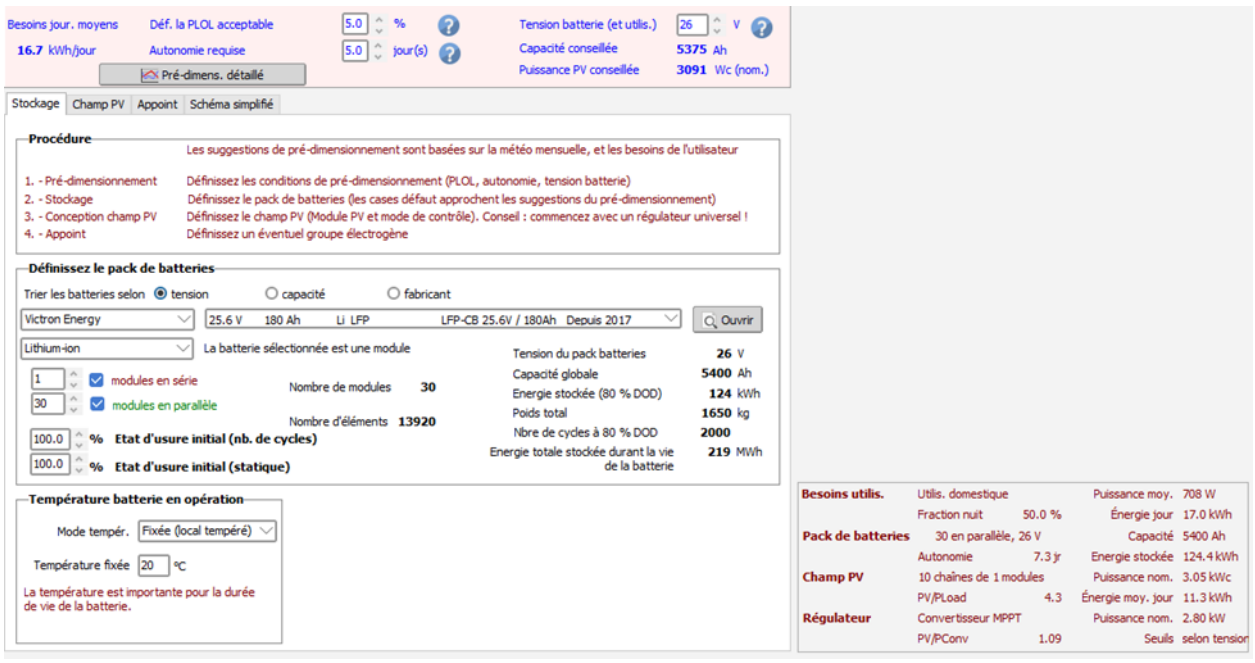

**Performance Ratio PR**




**Balances and main results**

| | GlobHor kWh/m² | GlobEff kWh/m² | E_Avail kWh | EUnused kWh | E_Miss kWh | E_User kWh | E_Load kWh | SolFrac ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| January | 75.9 | 115.7 | 279.8 | 0.047 | 0.000 | 584.9 | 584.9 | 1.000 |
| February | 88.8 | 116.6 | 282.9 | 0.000 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| March | 130.8 | 149.8 | 353.7 | 0.000 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| April | 161.0 | 165.8 | 387.4 | 0.000 | 0.000 | 584.9 | 584.9 | 1.000 |
| May | 187.6 | 176.3 | 403.0 | 0.000 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| June | 213.0 | 191.8 | 426.9 | 0.000 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| July | 220.2 | 203.9 | 441.4 | 0.000 | 0.000 | 584.9 | 584.9 | 1.000 |
| August | 200.2 | 202.2 | 439.4 | 0.015 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| September | 150.2 | 167.8 | 373.5 | 0.000 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| October | 119.9 | 156.5 | 357.9 | 0.014 | 0.000 | 584.9 | 584.9 | 1.000 |
| November | 79.4 | 114.5 | 274.5 | 0.015 | 0.000 | 467.9 | 467.9 | 1.000 |
| December | 70.0 | 113.8 | 275.3 | 0.000 | 0.000 | 584.9 | 584.9 | 1.000 |
| Year | 1697.1 | 1874.9 | 4295.8 | 0.091 | 0.000 | 6199.4 | 6199.4 | 1.000 |

**Figure 2.5 :** Données météorologiques



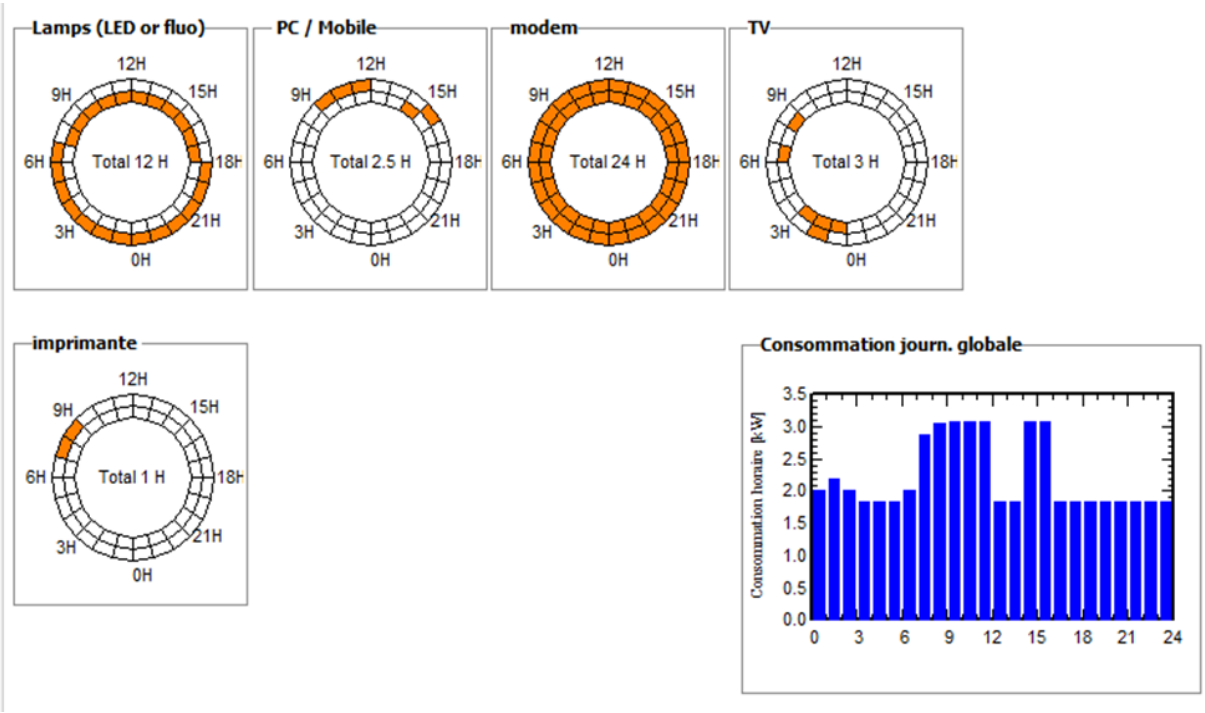



**Figure 2.6:** la Consommation d'un jour pour la bibliothèque

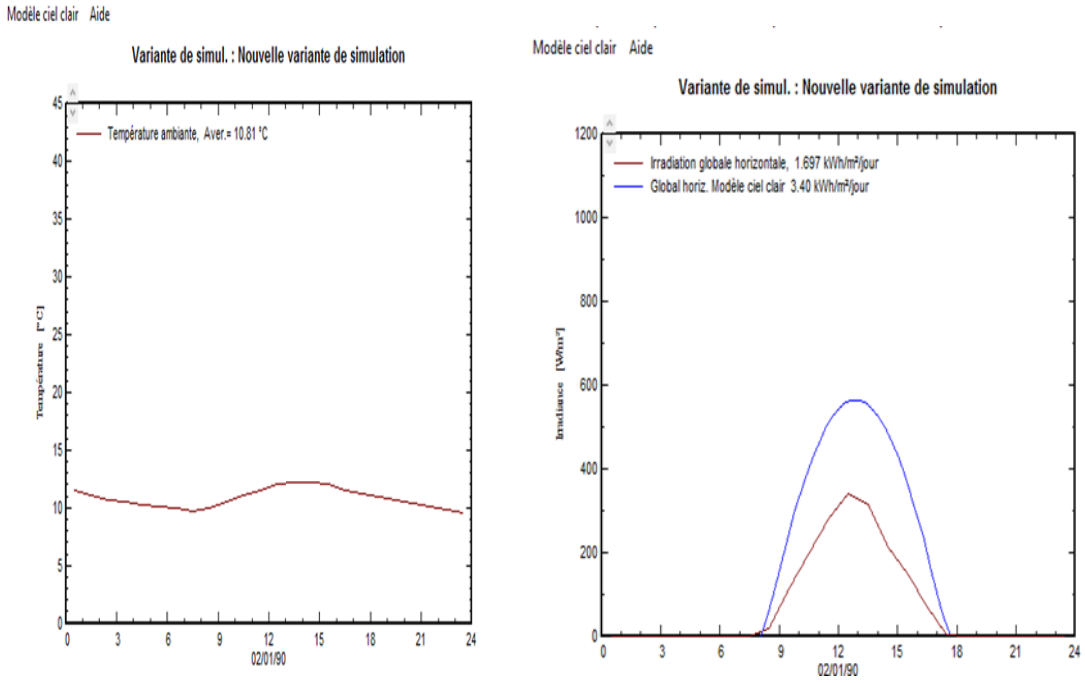



**Figure 2.7 :** Irradiance et température

**Tableau 2.3**. Ensoleillement mensuelle moyenne pour la ville de ouzera, Médéa

| Mois | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irradiation ($wh/m^2/j$) | *2450* | *3170* | *4220* | *5370* | *6050* | *7100* | *7100* | *6460* | *5010* | *3870* | *2650* | *2260* |
| Irradiation ($kwh/m^2/j$) | *2,45* | *3,17* | *4,22* | *5,37* | *6, 05* | *7,1* | *7,10* | *6,46* | *5,01* | *3,87* | *2,65* | *2,26* |

Si on compare la figure 2 avec le tableau 3, on en déduit qu'il y a un léger écart dans l'énergie au mois de Février. Par référence nous prendrons une énergie de 3170 $Wh/m^2$/jour.

## 2.10. Pertes électriques

On va les identifier cas par cas pour pouvoir les chiffrer. On va prendre toutes les sources de perte du système, compris celles dues à la batterie, aux câbles, etc. On doit en effet en tenir compte dans le calcul des modules, car ceux-ci doivent fournir toute l'énergie consommée, même celle qui est perdue.

On suppose ensuite que la puissance du panneau est directement proportionnelle au rayonnement instantané, ce qui est vrai en première approximation si le panneau a suffisamment de tension. On peut alors multiplier la puissance crête du panneau solaire parce nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production du module photovoltaïque pendant cette journée :

$$E_{prod} = N_e \times P_C \qquad (2.6)$$

**$E_{prod}$ :** *Énergie électrique produite dans la journée (Wh/j)*

**$N_e$ :** *Énergie solaire journalière (h/j)*

**$P_c$ :** *puissance crête (W)*

Seulement, ces calculs ainsi déduits ci-dessus ne sont vrais que pour un panneau isolé, dans les conditions idéales. Il ne tient pas compte des pertes inévitables d'un systèmecomplet, dans les conditions réelles. Ces pertes ont plusieurs origines et affectent certains paramètres du système. C'est ce que nous détaillerons maintenant.

### 2.10.1. Types de pertes

En commençant par l'entrée du rayonnement solaire, on trouve d'abord :

a) Perte par salissure du panneau ou par un vitrage placé devant, qui modifient son courant de charge, la tension n'étant pas affectée.

b) Pertes par chute de tension aux bornes des diodes série.

c) Pertes par chute de tension aux bornes du régulateur série si c'est le modèle retenu, car il comporte des interrupteurs électroniques en ligne ;

d) Pertes par chute de tension aux bornes des câbles selon leur longueur, leur sectionet l'ampérage transporté.

e) Une autre perte affecte directement la tension du panneau, il s'agit de la baisse dela tension lorsque la température s'élève, la puissance crête étant, elle, donnée à 25°C.

f) Perte d'énergie par la batterie quand elle n'est pas restituée à 100% par la batterie, on définit l'efficacité énergétique de la batterie par le rapport entre l'énergie restituée et l'énergie fournie.

g) Dans un système avec un régulateur classique, il existe une perte par désaccord de tension, la tension est imposée par la batterie et les différentes pertes en ligne liée à la tension (type b, c, d, et e) donc le module photovoltaïque ne travaille pas à son point de puissance maximum. Pour y remédier, on peut introduire un régulateur de type MPPT.

h) D'autre part, il peut exister un écart entre la réalité et le calcul présenté dans la relation [28], car il suppose que la puissance du panneau photovoltaïque est proportionnelle à l'éclairement et c'est en fait le courant qui l'est, il faut donc parfois considérer la perte des débuts et fin de journée quand l'éclairement est faible et la tension insuffisante pour charger la batterie.

i) Pour finir, il existe une perte liée à la puissance réelle du panneau qui peut être inférieure à celle annoncée dans la documentation du constructeur. Nous ne considérons pas cette « perte » dans nos calculs, car c'est loin d'être le cas général, mais il faut savoir que cela arrive.

### 2.10.2. Calcul des pertes

On peut lutter efficacement contre certaines de ces pertes : la chute de tension dans les câbles perte de type (d) sera réduite au maximum par câblage. Quant à la salissure pertede type (a) on la nettoiera régulièrement dans la mesure du possible, sinon on prendra 5 à 15% de pertes (ci-dessous évaluation de $C_p$). Prenons le cas de la neige, elle glisse en général vers le bas des que le soleil chauffe la surface des panneaux. Le masquage par le sable (cas du Sahara) où la poussière doit être combattue en plaçant les panneaux largement en hauteur pour éviter les accumulations au pied des châssis sous l'effet du vent.

La perte en température n'affectera que les systèmes en pays chauds, commecertaines régions de l'Algérie peuvent atteindre 25 °C cas à médéa pendant l'été, et onluttera contre les fortes chaleurs par une bonne ventilation des modules. Dans les pays tempérés, la chaleur n'est pas critique pour les panneaux, car elle se produit en été, période où le bilan d'énergie est

excédentaire du fait d'un rayonnement solaire plus abondant.

La technologie des modules a aussi son importance : les panneaux au silicium amorphe réagissent mieux au faible éclairement que leurs collègues au silicium cristallin et seront insensibles à la perte de type (h). Leur tension varie également beaucoup moins avec la température (perte e).

Autre remarque d'importance : les pertes en ligne de type (b), (c) et (d), celles dues à la température, à l'éclairement (h) et celle liée au désaccord panneau- batterie (g), si ellessubsistent, ne concernent que la tension. Une fois le câblage optimisé, si le module photovoltaïque ne peut endurer les chutes de tension restantes, c'est-à-dire que sa tension est trop basse ou que sa tension baisse trop rapidement avec l'ensoleillement, le système ne fonctionnera pas correctement, voir pas du tout (la batterie ne se charge pas). Il est donc impératif que les modules puissent endurer ces pertes en tension. Ce ne sont pas des modules supplémentaires qui vont compenser ce manque.

Concernant le chiffrage des pertes, la démarche la plus sage est donc de disposer d'un bon régulateur MPPT.

### 2.10.3. Évaluation de $C_p$

Pour les « salissures » (perte a) on peut prendre typiquement :

- 0.9 à 0.95 en règle générale (perte de 5 à 10%) ;
- 0.95 à 1 pour des panneaux nettoyés régulièrement ;
- 0.8 à 0.9 pour des panneaux à l'horizontale et non nettoyés ;
- et 0.92 en plus pour les panneaux placés derrière un vitrage (la pertedans ce cas est de 4% de réflexion par face de vitrage, donc 8%).

Rappelons que l'efficacité de la batterie (perte f) est le rapport entre la capacité restituée et la capacité chargée. On prendra pour les batteries plomb utilisées en photovoltaïque une efficacité en Ah comprise entre 0.8 et 0.9 selon les modèles et la fiabilité demandée.

En résumé, avec des modules qui ont une réserve en tension suffisante pour pallier les pertes en tensions dont nous avons parlé, si on cumule les effets « a » et « f », le coefficient $C_p$ pourra varier entre 0,65 (=0,8 x 0,8) et 0,9 (= 1 x 0,9) selon les cas (sans vitrage sur les modules).

Pour notre cas d'étude les salissures des modules ne seront pas un problème, car nous considérons que les utilisateurs veilleront à leur propreté, on ne prendra que 5% de pertes de ce côté, et pour le rendement de la batterie on prendra une perte de 0.8.

Ce qui nous donne pour le calcul final du courant de charge du champ photovoltaïque, un coefficient de pertes en courant :

$$\boldsymbol{C_p = 0.8 \times 0.95 \rightarrow C_p = 0.76} \qquad (2.7)$$

## 2.11. Calcul pratique de la puissance photovoltaïque

Le module choisi pour notre étude et un module de type SOLARWATT d'unepuissance optimale de 305 W, choisi essentiellement pour leurs hauts rendements qui leur permet de générer jusqu'à 50 % d'énergie en plus que les cellules solaires conventionnelles.

Sur le tableau 2.6 ; pour trouver l'énergie consommé en Ah on a divisé l'énergie (Wh/j) par la tension 220 V c'est-à-dire 54322/220 on obtient un énergie consommée égale 246.91 Ah.

**Tableau 2.4 :** Récapitulatif des énergies consommées la Bibliothèque

| **Nom du local** | **Ec de la Bibliothèque** |
|---|---|
| **Énergie** (*wh* / *j*) | $\mathbf{E_{cons1}}$ 54322 |
| **Énergie consommée(Ah)** | $\mathbf{Q_{cons1}}$=246.91 |

Les pertes représentées par le coefficient $C_p$ vont être introduites directement dansle calcul de la production électrique en Ah des modules par la formule suivante :

$$\mathbf{Q_{prod}} = C_p \times E_{sol} \times I_{opt} \qquad (2.8)$$

***$Q_{prod}$ : Énergie produite dans la journée (Ah/j)***

***$C_p$ : Coefficient de pertes en courant***

***$E_{sol}$ : Énergie solaire journalière ($kWh/m^2.j$)***

***$I_{opt}$ : Courant à la puissance maximale STC du module (A).***

Pour calculer la puissance nécessaire à L'université, on se sert de la formule ci-dessus à l'envers, en remplaçant l'énergie produite par l'énergie consommée (consommation totale journalière définie à l'étape 1). On utilise pour ce faire les données météorologiques retenues dans le cadre de l'application (étape 2 et 3 de la démarche).

Pour être certain de disposer d'assez de puissance en toute saison, on fera ce calcul dans les conditions d'ensoleillement les plus défavorables de la période d'utilisation (en hiver pour Médéa), le plus souvent dans le mois de décembre comme le montre le tableau 4 ainsi que la figure 2.

On appliquera donc la formule suivante : $I_{opt} = \frac{Q_{cons}}{E_{sol} \times C_p}$ (2.9)

*$I_{opt}$ : Courant à la puissance maximale STC du module (A)*

*$Q_{cons}$ : Énergie électrique consommée par jour par l'application (Ah/j)*

*$E_{sol}$ : Énergie solaire journalière la plus défavorable (kWh/m²/j)*

*$C_p$ : Coefficient de pertes en courant*

Avec les données précédentes on obtient un coefficient de perte en courant $C_p$=0.76 ; et une énergie solaire journalière à $E_{sol}$ =3,17 $(kWh/m^2/j)$

Le courant pour l'ensemble des bibliothèque $I_{opt1}$ : $I_{opt} = \frac{Q_{cons}}{E_{sol} \times C_p}$ (2.10)

$$I_{opt1} = \frac{246.91}{3.17 \times 0.76} \rightarrow I_{opt1} = 102.9A$$

Le courant pour la bibliothèque = $\mathbf{102.9}\boldsymbol{A}$

Les modules qu'on a choisi pour le cas de la ferme ont une tension optimale $U_{opt}$ de28,4 V, la puissance photovoltaïque du système devra être au minimum pour les trois locaux de $P_{C1}$, de :

$$P_{c1} = 102.9A \times 54.7V \times 7pannaux \rightarrow P_{c1} = 39243.30W \quad (2.11)$$

## 2.12. Composition du champ photovoltaïque

Puisque notre puissance photovoltaïque nécessaire est bien établie, on compose un champ de modules en série/ parallèle. Bien entendu, il faut arrondir le nombre de modules à la valeur entière supérieure, et parfois au nombre pair supérieur quand il faut les câbler deux à deux.

## 2.13. Nombre des panneaux

Nous rappelons que le module a une puissance de 305 W sous ***54.7*** V soit un nombre de modules de :

$$\text{Nombre de modules} = \frac{P_{cx}}{puissance\ unitaire\ selon\ le\ rendement} \quad (2.12)$$

Avec un rendement de 15 pour cent.

Pour notre cas d'étude le nombre de modules pour chaque partie est calculé :

(305x15)/100= 45.75

Les bibliothèque : *Nombre de* mod*ules* = $\frac{22719.80}{45.75} \rightarrow N_1 = 497$

## 2.14. Dimensionnement du stockage (Etapes 4)

Dimensionner la batterie, c'est choisir un stockage « tampon » permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires, à l'échelle de l'heure, de la journée (elle assure le fonctionnement nocturne) et de quelques jours de mauvais temps. Le choix de la capacité nominale dépend grandement de la technologie (batterie fermée, ouverte, AGM, gel…) par les

variations de capacité avec la température, le nombre de cycles, la durée de vie, etc. De plus, le choix d'une batterie relève aussi d'une stratégie économique. Et encore ici la politique à adopter est différente dans les pays chauds et dans les pays tempérés.

La batterie est souvent le composant le moins durable d'un système photovoltaïque. Il faudra donc la remplacer avant les panneaux, si l'on souhaite une grande fiabilité et une longue durée de vie. En revanche, pour les applications peu sollicitées ou situées dans des zones très chaudes, on peut être amené à prendre des batteries moins chères (batteries solaires à plaques, ou même des batteries de voiture, disponibles partout), car il est probable que la corrosion vienne à bout des électrodes assez rapidement quelle que soit la technologie. Le tableau 7 nous explique les caractéristiques de chaque type de batterie.

Les batteries peuvent être munis de bouchons par feu qui recombinent l'hydrogène et l'oxygène pour diminuer la gazéification des batteries, offrent également une meilleure protection aux batteries contre les flammes et les étincelles. Une inspection des batteries peut se faire sans leur retrait. Ils conviennent à la majorité des batteries acide-plomb de 6 et12 V et 24 V

## 2.14.1. Autonomie sans apport solaire

On appelle nombre de jours d'autonomie sans apport solaire, $N_{ja}$, la durée de Quelques jours pendant laquelle la batterie peut alimenter seule l'installation à toute période de l'année (les panneaux étant considérés comme absents). C'est sur cette base que l'on calculera la batterie.

La durée d'autonomie nécessaire est liée à la probabilité de trouver une série de mauvais jours d'affilée, avec un ensoleillement très défavorable. Cela dépend directement de la météo du lieu. Pour une utilisation normale en Algérie, tempérés, on peut admettre une autonomie de 3 à 4 jours comme le montre la figure ci-dessous 3 pour la région d'Oran précisément, mais on peut réduire ce risque en travaillant avec 5 à 6 jours sans apport solaire pour les systèmes très sensibles, et donc, pour notre étude dans la région d'Oran, on prendra le nombre de jours égal à *5 jours*.

## 2.14.2. Calcul de la capacité batterie

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en 20h (notée $C_{20}$) à la température de 25 °C

La capacité nécessaire pour un fonctionnement de $N_{ja}$ jours et un besoin électriquejournalier $Q_{cons}$ est de :

$$C_u = N_{ja} \times Q_{cons} \qquad (2.13)$$

$C_u$ : Capacité utile de la batterie (Ah)

$N_{ja}$ : Nombre de jours d'autonomie sans apport solaire

$Q_{cons}$ : Consommation journalière de l'application (Ah)

Cette capacité utile $C_u$ n'est pas la capacité nominale $C_{20}$, mais la capacité réellement disponible sur le terrain à tout moment. Pour calculer la capacité nominale en fonction de cette capacité souhaitée, on doit donc tenir compte de la température et/ou de la profondeur de décharge autorisée.

### 2.14.3. Profondeur de décharge

Une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil sinon on risque de l'endommager.

$E_{CH}$, nombre compris entre 0 et 1, exprime l'état de charge de la batterie, donc la profondeur de décharge $P_D$. La proportion de la capacité de décharge s'écrit :

$P_D = 1 - E_{CH}$

On doit prendre garde à ce paramètre quand la batterie est fortement sollicitée, c'est-à-dire l'autonomie sans apport solaire est de courte durée. La batterie sera alors soumise à des cyclages assez fréquents, d'une part la nuit à hauteur de 20-25% et lors des périodes de temps couvert. Le nombre de cycles est inversement proportionnel à la profondeur de décharge.

En pratique, en l'absence de problèmes de basses températures, et pour un usage normal, on applique un coefficient **$P_D$ = 0.7 à 0.8** selon les modèles de batterie. Pour notre cas d'étude, on prendra le coefficient $P_D = 0,8$.

### 2.14.4. Calcul de la capacité avec le coefficient de réduction :

Pour tenir compte du phénomène de profondeur de décharge maximale, on calcule la capacité nominale comme suit :

$$C_{20} = \frac{C}{F_D} = \frac{N_{ja} \times Q_{cons}}{P_D} \qquad (2.14)$$

*$C_{20}$ : Capacité nominale $C_{20}$ (Ah)*

*$N_{ja}$ : Nombre de jours d'autonomie sans apport (j)$Q_{cons}$ : Consommation journalière (Ah/j)*

*$P_D$ : Profondeur de décharge maximale autorisée/la tension (V).*

Pour notre application à la ferme, on a obtenu les résultats suivants sur le calcul de la capacité nominale $C_{20}$ (Ah) pour chaque local :

- Pour la Bibliothèque : $C_{201} \frac{5 \times 59.33}{0.8} \rightarrow C_{201} = 370.81Ah.$

## 2.15. Stockage photovoltaïque

Batteries

Une batterie est un dispositif électrochimique destiné à emmagasiner de l'électricité pour la restituer ensuite à la demande. Ce genre de batterie peut être chargé électriquement une fois déchargée par le passage d'un courant électrique à travers ces électrodes en sens inverse du courant de décharge.

C'est ce qui lui donne son aspect de dispositif de stockage d'énergie électrique connue sous le nom 'Accumulateur'.

Les applications où les accumulateurs sont utilisés comme un moyen de stockage d'énergie, sont généralement connectés à une source électrique pour être chargé (alternateur, réseau électrique, système GPV…etc.), et une charge qui consomme l'énergie délivrée par l'accumulateur en régime de décharge, exemple : voiture, installations électriques en avion, satellite …ect [45].

**Choix du type de batterie :**

On vient de voir l'influence des paramètres de cyclage et de durée de vie sur les choix d'un type de batterie. Les autres paramètres qui entrent en ligne de compte sont : l'entretien ; le taux de remplacement ; le coût ; la disponibilité ; le recyclage…

Si notre utilisateur est présent sur le site ou à proximité du système photovoltaïque ou si des visites de maintenance sont possibles, on pourra employer une batterie ouverte, qui demande une certaine surveillance des niveaux et de la densité de l'électrolyte. Batterie fermée, quelle qu'elle soit, ne demande aucun entretien. Cette rentabilité dépend complètement du bilan économique qui sera fait en fonction des conditions d'exploitation.

Les batteries sont connectées en série pour atteindre la tension de bus continu Ubus souhaitée (dans notre cas 380V) et sont branchées en parallèle pour obtenir la capacité de stockage désirée (en Ah). L'équation suivante présente comment calculer le nombre de batteries en série à partir de la tension du bus continu et la tension nominale de chaque batterie Vbat (dans notre cas 12V) : Nbats=Ubus/Vbat. [31]

On a choisi d'utiliser des batteries surettes au vu des nombreux avantages qu'ils présentent.

## 2.16. Conclusion

En utilisant cette méthodologie, nous avons pu déterminer avec précision le nombre de panneaux solaires et de batteries nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques de l'Université. Cela permettra à l'Université de réduire sa dépendance vis-à-vis des sources d'énergie traditionnelles et de contribuer à la lutte contre le changement climatique en utilisant une source d'énergie renouvelable.

De plus, en calculant la consommation d'énergie, nous avons pu identifier les domaines où

l'Université peut améliorer son efficacité énergétique. En mettant en place des mesures d'efficacité énergétique telles que l'utilisation de lampes LED et la mise en veille des équipements lorsqu'ils ne sont pas utilisés, l'Université peut réduire sa consommation d'énergie

# Chapitre 03 : modélisation des composants du système

# CHAPITRE 3 : Modélisation des composants du système

## 3.1. Introduction

Le système (PV) le plus simple n'exige aucune commande électronique au traitement de puissance, qui est constitué d'une rangée de module (PV) avec un nombre convenablement choisi de cellules et une batterie de charge. La batterie soutient l'approvisionnement lors d'insuffisance d'énergie solaire, mais elle aide également à maintenir la tension d'alimentation dans des limites bien définies. Une telle approche est si simple mais elle présente des limitations, aucune commande pour limiter la charge fournie à la batterie. De plus, aucun moyen de limitation de la décharge de la batterie n'est disponible.

La puissance assurée à la charge est directement le produit courant-tension qui peut flotter sensiblement selon l'état de la charge. En outre, il n'y a aucune manière de commander la tension des panneaux (PV) pour assurer un transite de puissance maximum.

Afin de surmonter ce problème, des circuits électroniques sont utilisés pour la commande et la limitation des courants de charge des batteries. La conversion de la tension (DC / DC) et la transformation du courant (DC/AC).

Ce chapitre II décrit certains convertisseurs d'électronique de puissance et les techniques de commande et de conversion DC/ DC, DC /AC connectés au réseau.

## 3.2. Convertisseur DC-DC

Par convention, des systèmes de conversion photovoltaïques reliés au réseau se composent de convertisseur DC-DC et d'onduleur. Le convertisseur DC-DC est contrôlé pour la poursuite du point de puissance maximum du panneau photovoltaïque et l'onduleur est contrôlé pour produire le courant de telle manière que le courant de système ait une faible déformation totale d'harmonique et il ait en phase avec la tension de réseau.

Cette partie décrit certains convertisseurs d'électronique de puissance et les techniques de commande et de conversion (DC-DC) [29].

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [31].

L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs.

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont :

- Convertisseur dévolteur (ou Buck)
- Convertisseur survolteur (ou boost)
- Convertisseur dévolteur- survolteur (Buck-boost)

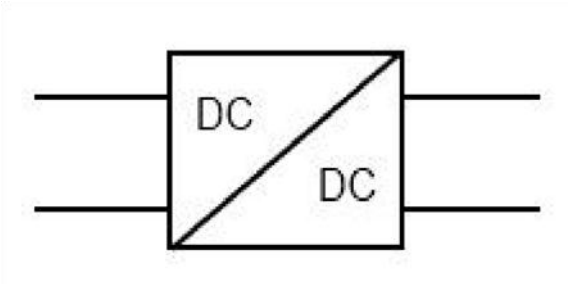



**Figure 3.1.** Symbole d'un convertisseur DC-DC

## 3.3. Hacheur dévolteur (Buck)

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à gauche du MPP. La figure (3.2) représente le schéma de circuit électrique d'un convertisseur Buck.

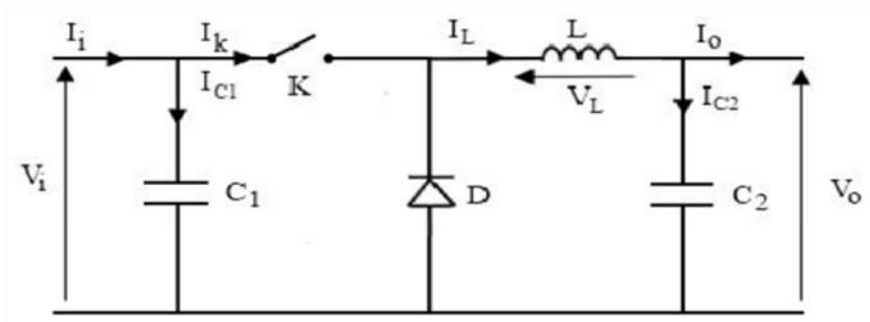



**Figure 3.2.** Schéma électrique d'un hacheur Buck

## 3.4. Convertisseur Boost

Un convertisseur élévateur 'Boost', ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP. La figure (3.3) montre le schéma du circuit électrique d'un convertisseur Boost. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure [31].

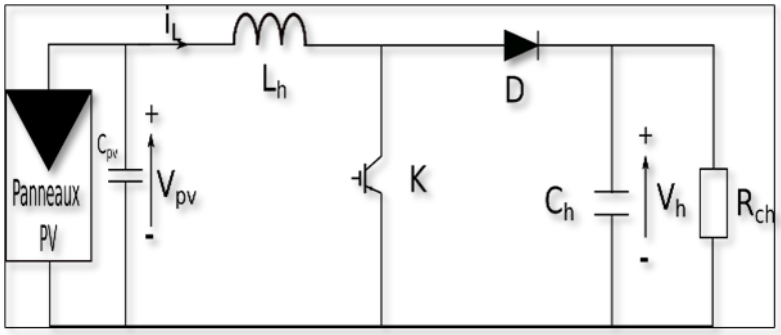



**Figure 3.3 :** Diagramme de convertisseur Boost

La figure montre les schémas des circuits équivalents d'un convertisseur élévateur dans les deux cas :

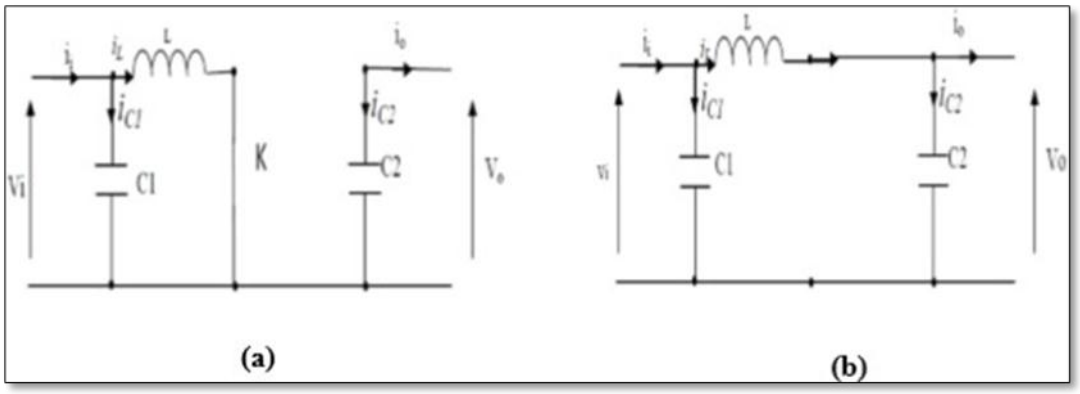



**Figure 3.4:** Schémas équivalents de l'hacheur Boost, (a) : K fermé, (b) : ouvert

Au premier temps D × Ts, le transistor (K) est fermé, le courant dans l'inductance croit progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période.

À la deuxième période, le transistor (K) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (IL), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'appliquesur la charge (R) à travers la diode (D).

**A l'état a :**

Lorsqu'on applique la loi de Kirchhoff sur le circuit ci-dessus on aura les équations suivantes :

$$\begin{cases} ic1(t) = C1 \times \frac{dVi(t)}{dt} = ii(t) - iL(t) \\ ic2(t) = C2 \times \frac{dV_0(t)}{dt} = -io(t) \\ VL(t) = L \times \frac{diL(t)}{dt} = Vi(t) \end{cases} \quad [2]$$

**A l'état b :**

Le système d'équations suivantes est :

$$\left\{\begin{array}{c} IL = Ii - C1 \times \frac{dVi(t)}{dt} \\ I_0 = (1-D) \times IL - C2 \times \frac{dVi(t)}{dt} \\ Vi = L \times \frac{dIl}{dt} + (1-D) \times V_0 \end{array}\right\} \quad [3]$$

En appliquant la relation (1) si dessous sur les systèmes d'équations (2) et (3), Commepour le convertisseur dévolteur, on obtient après la simplification en régime continu [27]:

$$\langle \frac{dx}{dt} \rangle \times Ts = \frac{dx}{dt(DTs)} \times dTs + \frac{dx}{dt((1-D)\times Ts)} \times (1-D) \times Ts \ [1]$$

$$\left\{\begin{array}{c} IL = Ii - C1 \times \frac{dVi(t)}{dt} \\ I_0 = (1-D) \times IL - C2 \times \frac{dVi(t)}{dt} \\ Vi = L \times \frac{dIl}{dt} + (1-D) \times V_0 \end{array}\right\} \quad [4]$$

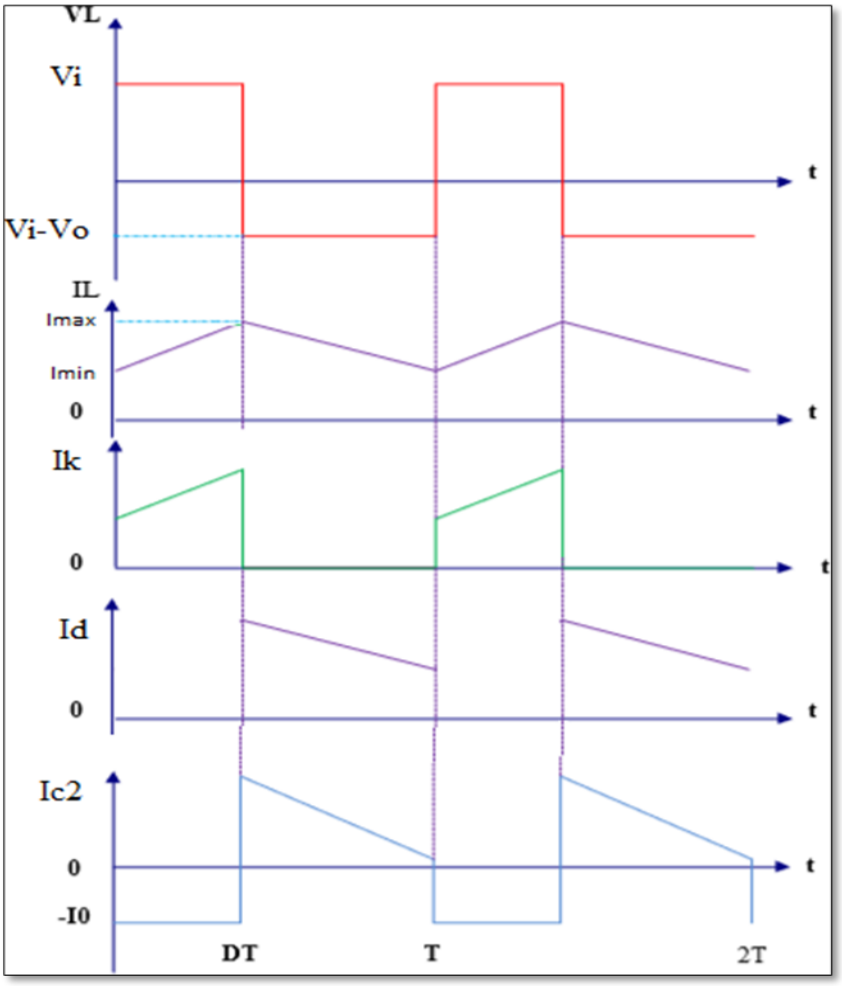



**Figure 3.5 :** Caractéristique de la tension et du courant du hacheur Boost.

## 3.5. Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée [37].

Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, La tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée. Tandis que, lorsque le transistor est sur la position (on) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée ; et quand le commutateur tourne sur la position (off). La tension à travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfert vers la charge via la diode

## 3.6. Matlab Simulink

Simulink est un outil de Matlab permettant de modéliser, simuler et analyser un système dynamique.

Le logiciel permet d'étudier le comportement d'un grand nombre de systèmes dynamiques incluant les systèmes électriques dont nous avons besoin pour notre étude.

## 3.7. Le Model average boost sur Simulink

Ce modèle est représenté par des sources de tension équivalentes générant la tension alternative moyennée sur un cycle de la fréquence de commutation.

Un tel modèle ne représente pas les harmoniques, mais la dynamique résultant de l'interaction du système de contrôle et du système d'alimentation est préservée. Ce modèle permet d'utiliser des pas de temps beaucoup plus grands que le modèle détaillé (50 microsecondes contre 1 microseconde), résultant en une simulation beaucoup plus rapide.

Ce convertisseur est caractérisé par les équations précédemment démontrées.

$P = Va \times Ia = Vdc \times Id$ [5]

$Idc = Va \times Ia \div Vdc$ [6]

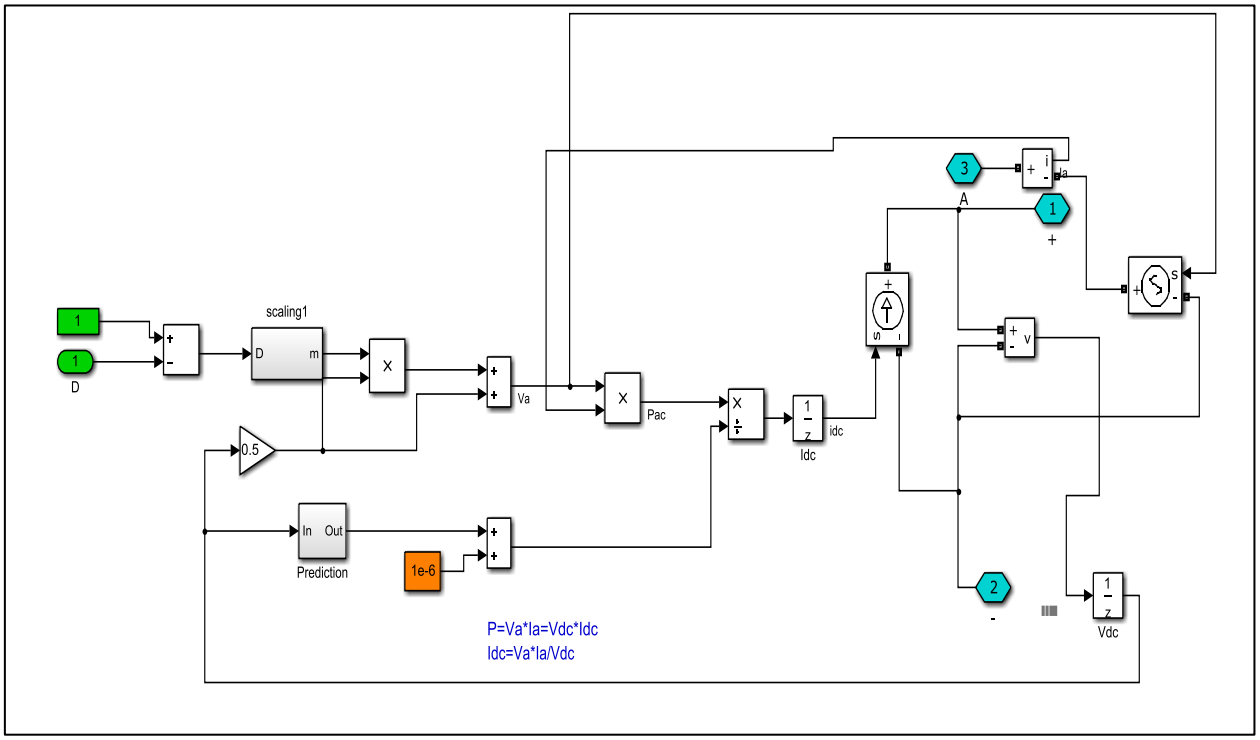



**Figure 3.6 :** schéma synoptique d'un average hacheur boost

## 3.8. Commandes MPPT des convertisseurs DC-DC

La figure  montre le diagramme synoptique d'un système photovoltaïque, avec un module MPPT qui a pour entrées la tension et le courant de sortie du module. Dans la plupart des cas, on réalise une maximisation de la puissance fournie par le module solaire.

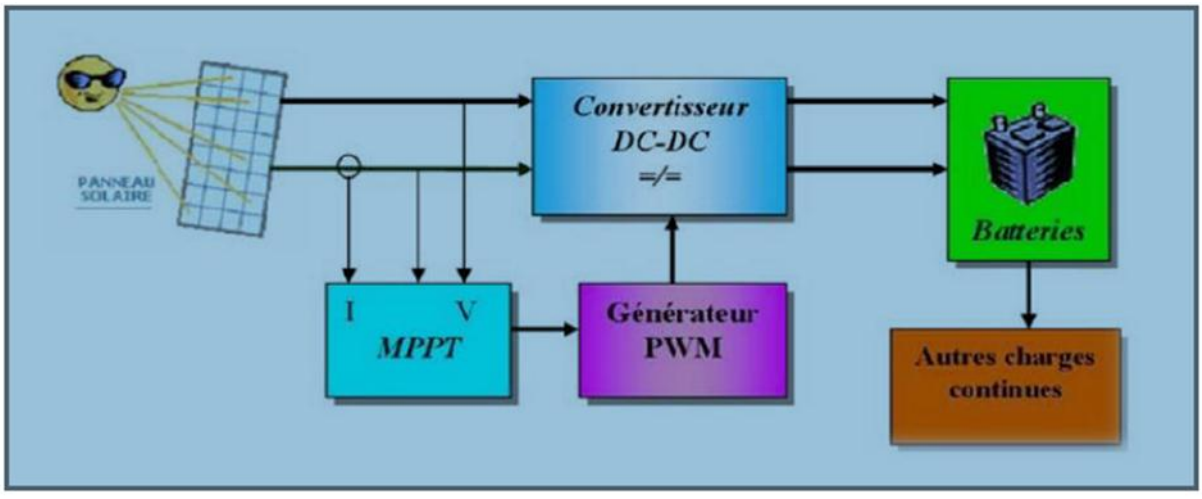



**Figure3.7 :** Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec une commande MPPT

Ces méthodes sont basées sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le point de fonctionnement du module solaire pour que la puissance générée soit maximale sans interruption de fonctionnement du système.

La puissance extraite du module est calculée à partir des mesures de courant ***I*** et de tension ***V*** du module et la multiplication de ces deux grandeurs. $Ppv = 1pv \times Vpv$

Ces mesures sont utilisées par diverses méthodes qui poursuivent le MPP.

### 3.8.1. Principe de la commande MPPT (Maximum Power Point Tracking Control)

La méthode de suivi du point de puissance maximale (MPPT) est simple et est basée sur la relation qui existe entre la tension de charge et la tension en circuit ouvert du panneau PV Ainsi, lorsqu'une connexion directe est effectuée entre la source et la charge, la sortie du module PV est rarement maximale et le point de fonctionnement n'est pas optimal Pour pallier ce problème, il est nécessaire d'ajouter un dispositif d'adaptation, contrôleur MPPT avec un convertisseur DC-DC, entre la source et la charge, (Fig. 3.8) [32].

. Il peut être représenté par le schéma.

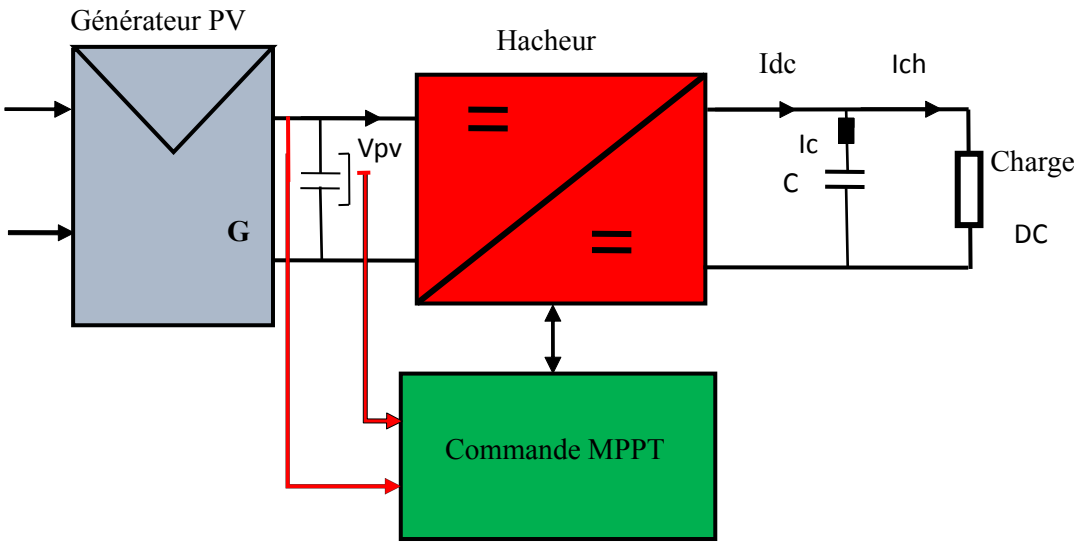



**Figure 3.8 :** Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT et une charge.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP [35].

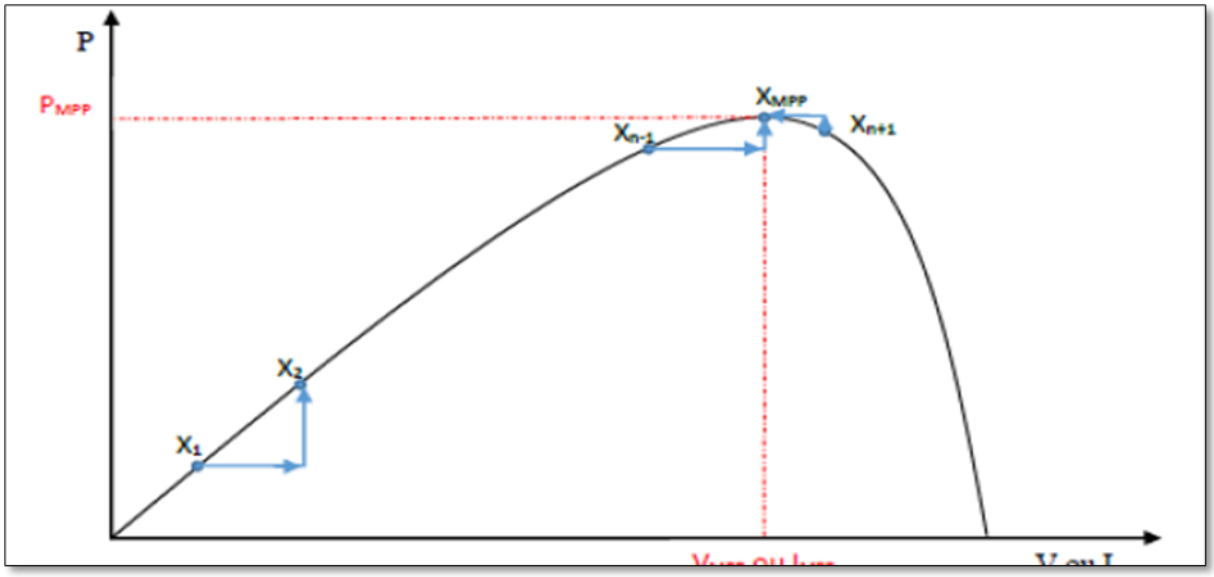



**Figure 3.9 :** Principe de la commande MPPT.

### 3.8.2. Classification des commandes MPPT

Classifier d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classifier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT. Bien qu'il existe un grand nombre de publications scientifiques qui présentent des commandes MPPT plus ou moins complexes, nous nous centrerons sur quelques-unes représentant le mieux un type d'algorithme MPPT [34-36].

### 3.8.3. Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

- Commandes MPPT fonctionnantes à partir des paramètres d'entrée :

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal ($Vopt$ et $Iopt$) et les paramètres caractéristiques du module PV ($Voc$ et $Icc$ ).Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [34].

### 3.8.4. Commandes MPPT fonctionnantes à partir des paramètres de sortie

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Il existe également aussi des systèmes qui utilisent les paramètres de sortie du système de puissance comme par exemple sur où le courant de sortie de l'étage onduleur est utilisé pour faire la recherche du point de puissance maximale.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation d'est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [34].

### 3.8.5. Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

Indépendamment des paramètres d'entrée de l'algorithme MPPT, nous pouvons trouver dans la littérature différents types de commandes MPPT. Certaines d'entre elles sont basées sur des techniques de « hill climbing » où la commande MPPT essaye de faire « monter » le point de fonctionnement du GPV le long de la caractéristique P(V) jusqu'à atteindre le PPM. Dans ce type de méthodes, nous pouvons distinguer les méthodes basées sur l'incrément de conductance et les méthodes P&O (Perturb & Observe).

### 3.8.6. MPPT indirect

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées ($ISC$ ou $Voc$ ), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [34-35].

### 3.8.7. MPPT Direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement

est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction [34-35].

## 3.9. Les algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer. Ceci a constitué la base théorique pour nos travaux concernant les simulations dans le chapitre suivant.

## 3.10. Commande MPPT par la méthode Perturbation et Observation P&O [38]

Le coût élevé du générateur PV nous impose une utilisation optimale et rationnelle de ce dernier pour aboutir à un fonctionnement économique et rentable. Pour cela, nous devons utiliser le générateur PV dans la région où il délivre sa puissance maximale.

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking ) est un organe fonctionnel du système PV et permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV dans des conditions météorologiques et de charge stables. Le principe de régulation est basé sur la variation automatique du rapport cyclique **D** d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du panneau PV.

Il existe plusieurs types de commande MPPT du convertisseur DC-DC. Parmi lesquelles, On aura expliqué la méthode perturbation et observation P&O qui est utilisée dans notre travail. Cette méthode est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau PV respectivement.

Le principe de la commande MPPT de type P&O consiste à perturber la tension $V_{PV}$ ou le courant $\mathbf{I_{PV}}$ d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance $\mathbf{P_{PV}}$ qui en résulte. La Figure 3.10 montre le principe de la commande P&O.

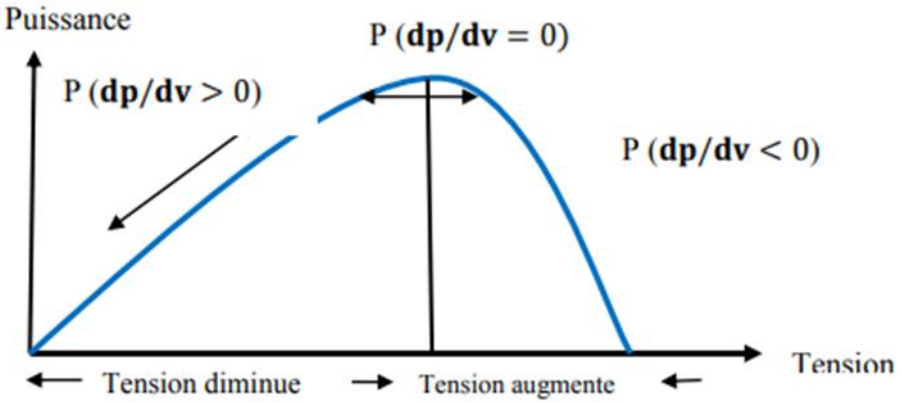



**Figure 3.10** : Principe de la commande P&O.[38]

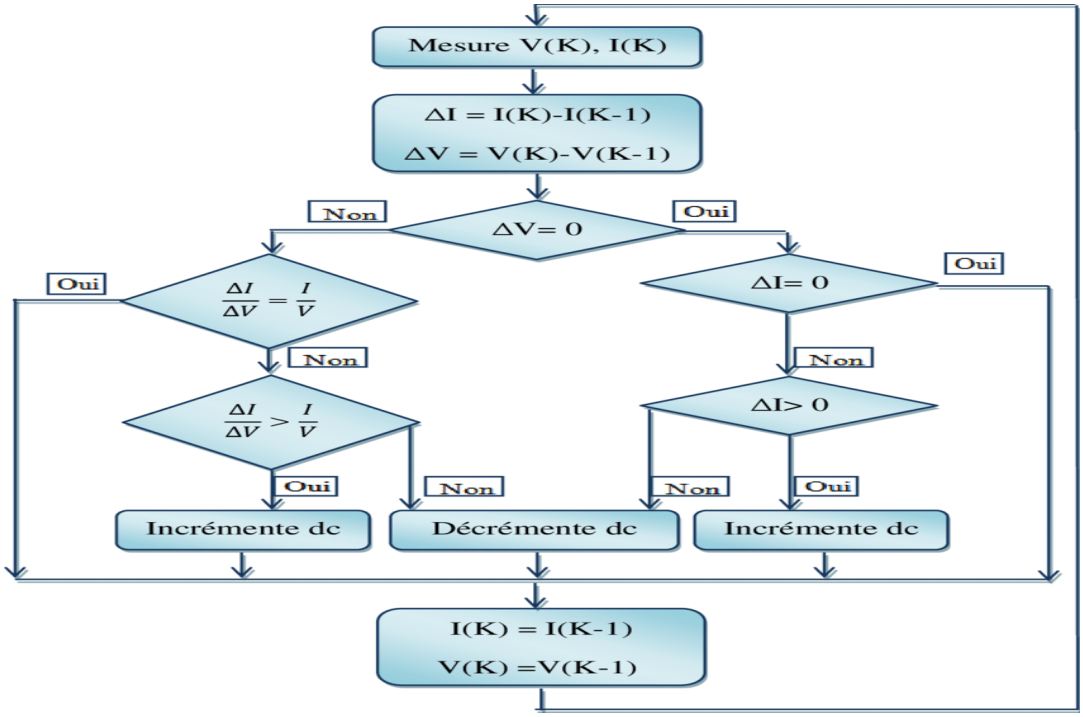



**Figure 3.11** Algorithme de perturbation et de l'observation (P&O).[38]

Algorithme de la méthode Incrément de conductance. Pratiquement, comme la méthode P&O, cette technique présente des oscillations autour du PPM car il est difficile de remplir la condition, ce qui fait que le système reste toujours en train de la chercher. L'algorithme IncCond est plus complexe que celui du P&O, ce qui engendre un temps d'exécution plus long.

Après avoir modélisé le champ PV et connecté celui-ci au convertisseur DC-DC, nous avons Effectué la simulation de son fonctionnement. Pour cela nous avons implémenté les modèles Obtenus dans Simulink. Une commande MPPT a été insérée à l'aide des blocs programmés sous simulink.

La commande MPPT permet de se situer à tout moment de l'ensoleillement à la puissance maximale de notre système PV. Pour simuler la puissance maximale, nous avons d'abord

Connecté notre système PV directement à la charge, puis nous avons par la suite connecté entre la charge et le système PV le convertisseur DC-DC commandé par le MPPT. [36]

## 3.11. Convertisseurs DC/AC

Un convertisseur (DC/AC) est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative.la forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale), c'est que le taux d'harmonique soit très faible, et ça dépend essentiellement à la technique de commande utilisée.

Les convertisseurs (DC/AC) se distinguent principalement par la nature de l'étage continu et par le nombre de phases de la source alternative. Si l'étage continu est vu comme étant une source de courant, les convertisseurs continu-alternatif associés sont des onduleurs de courant. Si l'étage continu est vu comme étant une source de tension, les convertisseurs continu-alternatif associés sont des onduleurs de tension.

Le plus souvent, on utilise deux ou trois phases. Ces convertisseurs (DC/AC) sont des convertisseurs directs, ils ne sont composés que d'interrupteurs semi-conducteurs, et la nature de la source continue impose la nature de la source alternative [5].




**Figure 3.12** Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé

## 3.12. Structure d'onduleur

Les onduleurs monophasés constitués de deux bras chaque bras se compose de deux interrupteurs. Les interrupteurs choisis, constituent bien une cellule de commutation. Leur fonctionnement doit être complémentaire afin de ne jamais court-circuiter la source continue.

Donc les interrupteurs doivent être bidirectionnels en courant.et se compose soit d'un thyristor et une diode en antiparallèle ou bien un transistor avec une diode en antiparallèle [34].

## 3.13. La commande MLI

L'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance. Cependant, cette technique ne résout pas totalement le problème des harmoniques de courant [33].

La MLI est réalisée par la comparaison d'une onde modulée (tension référence) avec une onde partance de forme triangulaire (haut fréquence). Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la partance et la modulante [35].

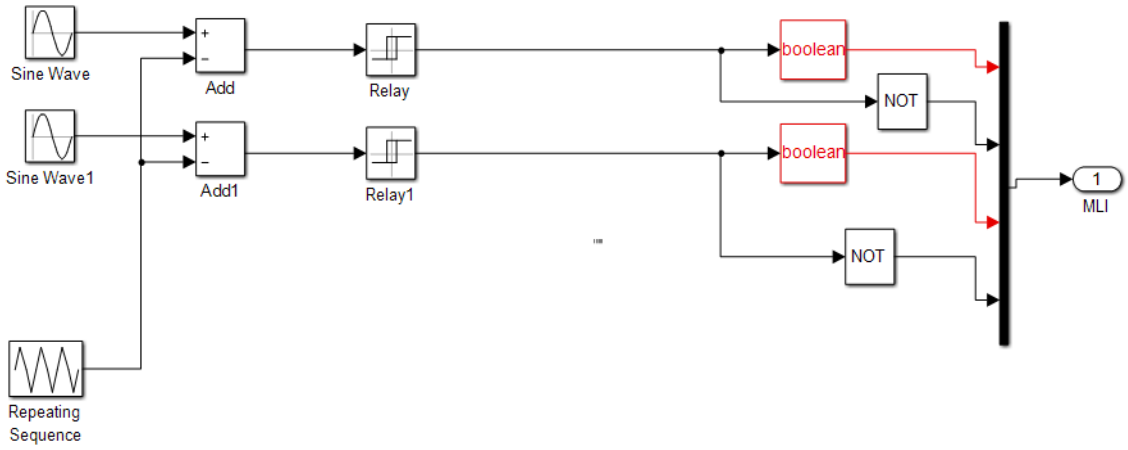



**Figure 3.13**. Simulation de commande MLI

## 3.14. Principe de MLI

Le fonctionnement du générateur photovoltaïque à un rendement optimal nécessite l'insertion des convertisseurs statiques (hacheur) entre le générateur et le récepteur (charge). Dans la littérature plusieurs travaux se sont intéressés à l'étude des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique.

Dans ce chapitre, nous avons décrit généralement tous les équipements d'électronique de puissance utilisés pour la connexion des systèmes photovoltaïques au réseau électrique. Ainsi que, leur Príncipe de fonctionnement, leurs modèles mathématiques et leurs différents types de commande (*MPPT* et *MLI*).

## 3.15. Hacheur élévateur-abaisseur (Buck-Boost)

Le convertisseur abaisseur-élévateur combine les caractéristiques des deux premiers convertisseurs et sert comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée à n'importe quelle tension de sortie souhaitée ; son schéma de base est illustré à la figure 3.12 [38].

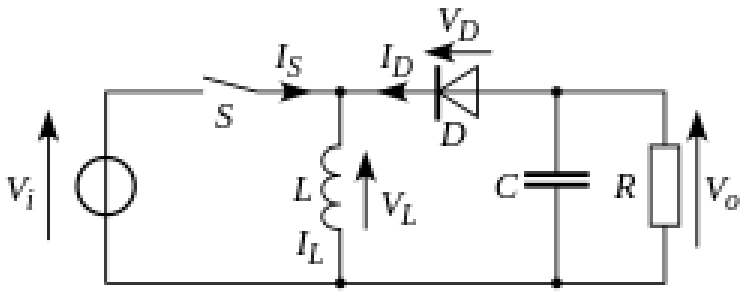



**Figure 3.14.** Convertisseur Buck-Boost

La figure m o n t r e les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur-survolteur pour les deux cycles de fonctionnements :

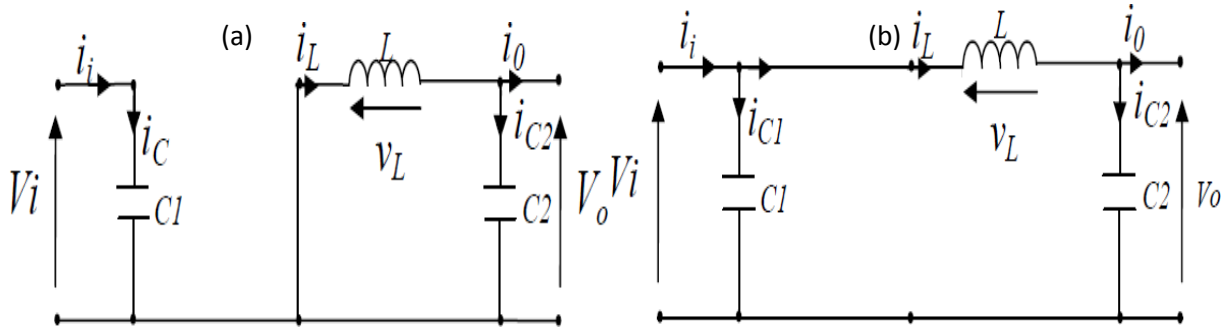



**Figure 3.15.** Schémas équivalents de l'hacheur dévolteur-survolteur, (a) : K fermé, (b) : K ouvert

**A l'état a :**

Lorsqu'on applique la loi de Kirchhoff sur le circuit ci-dessus on aura les équations suivantes

$$\begin{cases} ic1(t) = C1 \times \frac{dVi(t)}{dt} = ii(t) - iL(t) \\ ic2(t) = C2 \times \frac{dV_0(t)}{dt} = -io(t) \\ VL(t) = L \times \frac{diL(t)}{dt} = -Vi(t) \end{cases} \quad [7]$$

**A l'état b :**

Le système d'équations suivantes est :

$$\begin{cases} \boldsymbol{ic1 = c1 \times \frac{d_{Vi(t)}}{d_t} = ii(t)} \\ ic2(t) = C2 \times \frac{dV_0(t)}{dt} = iL(t) - io(t) \\ VL(t) = L \times \frac{diL(t)}{dt} = Vo(t) \end{cases} \quad [8]$$

En appliquant la relation [1] sur les systèmes d'équations [5] et [6], on obtient après la simplification en régime continu [37] :

$$\begin{cases} IL = \frac{1}{d} \times (li - C1 \times \frac{d_{Vi(t)}}{d_t} \\ Io = -(1-D) \times IL - C2 \times \frac{d_{Vo(t)}}{d_t} \\ Vi = \frac{1}{D} \times ((-1-D) \times Vo + L \times \frac{diL}{dt} \end{cases} \quad [9]$$

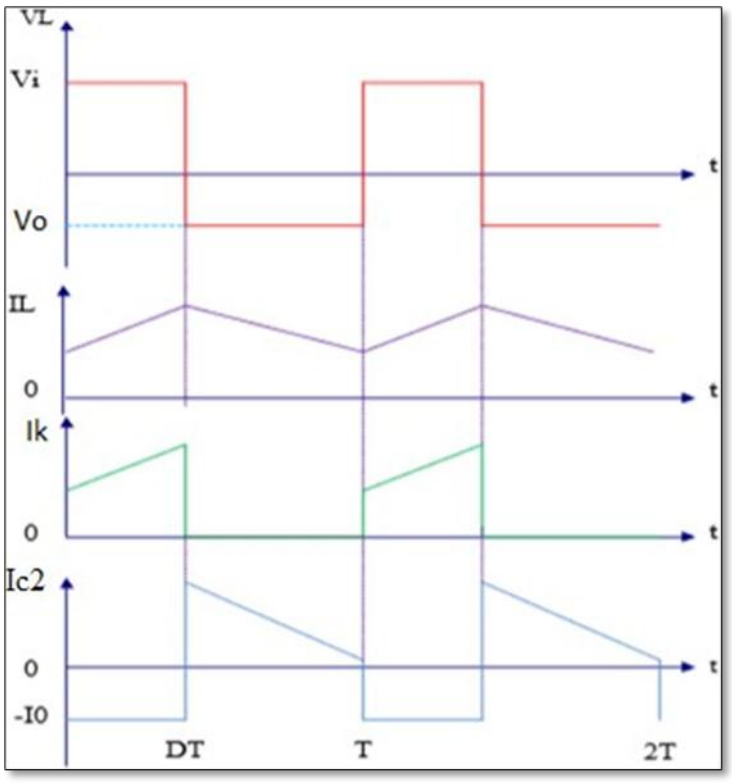



**Figure 3.16.** Caractéristique de la tension et du courant du Buck-Boost

Ce convertisseur est caractérisé par les équations suivantes.

1) I1=f(D * I2)

2) V2=f(D * V1)

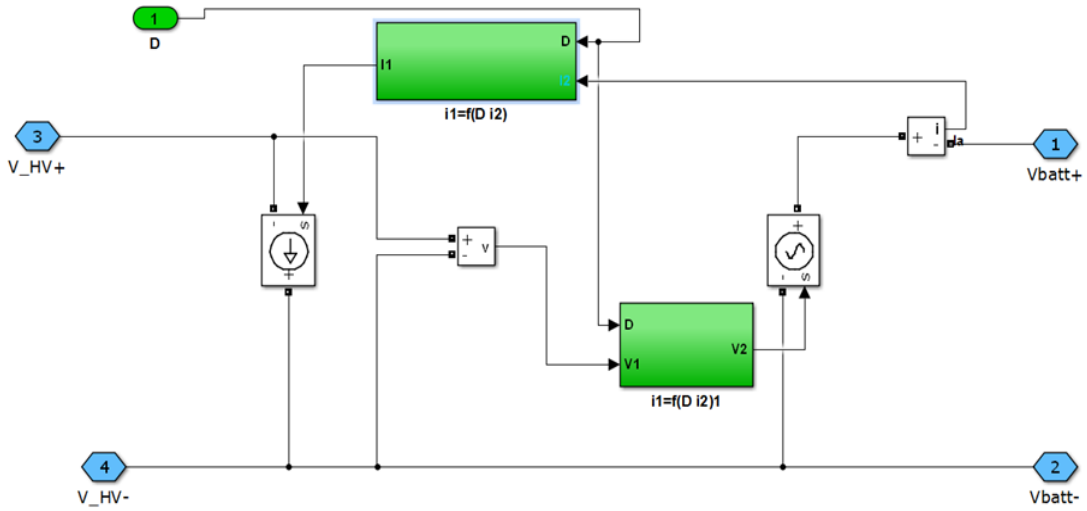
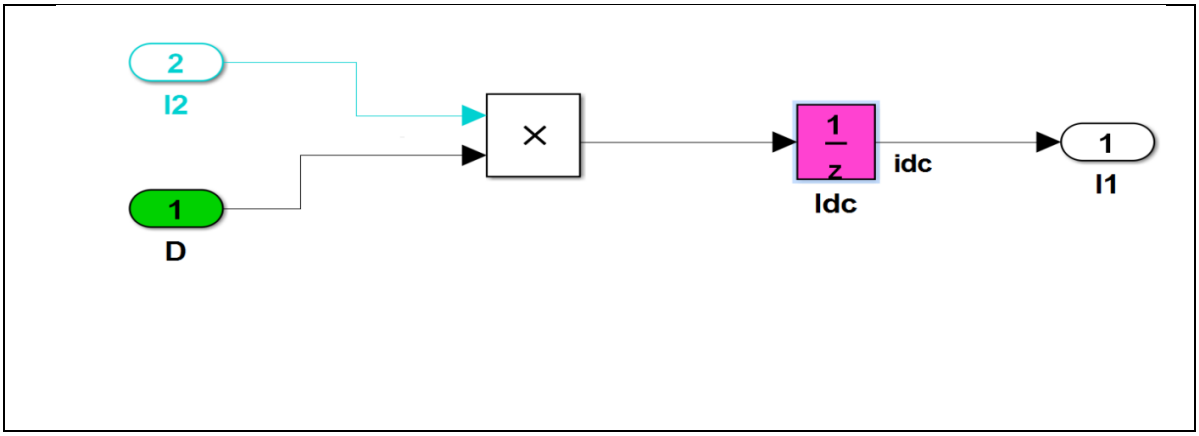
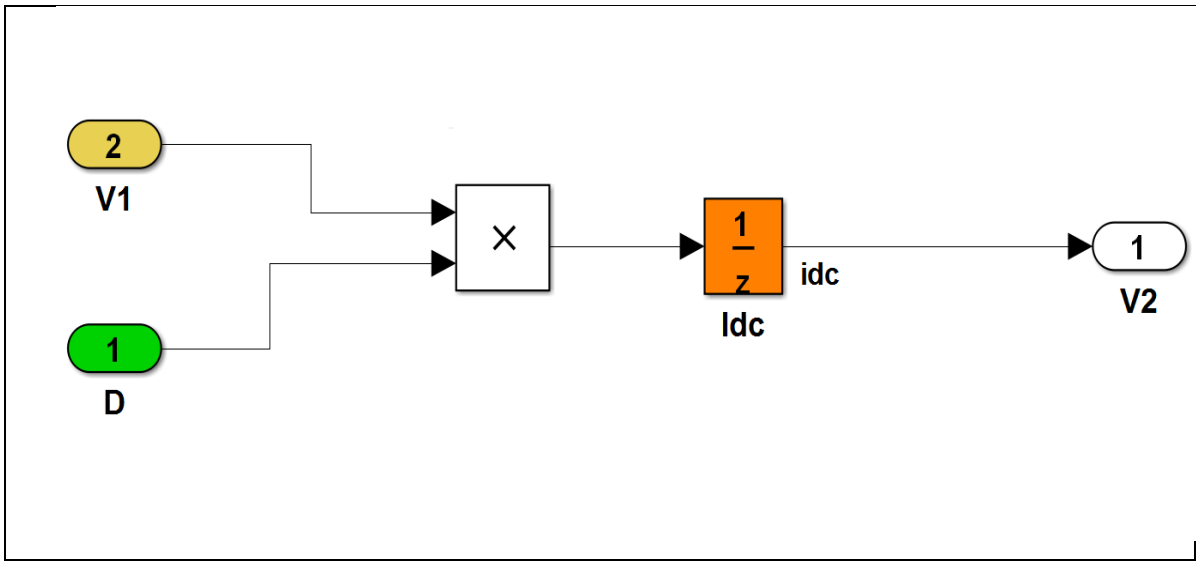



**Figure 3.17.** Verdage buck-boost Converter. (Simulink-MATLAB)




Block -1




Block- 2

## 3.16. Conclusion

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs, stockage batteries) ; cette modélisation est une étape essentielle qui permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres des constituants. L'implémentation de ces modèles dans un environnement de simulation adapté permettra d'étudier le comportement des composants en fonction de certains paramètres, avec la modélisation d'un convertisseur boost average commandé par MPPT, la modélisation d'un Buck/Boost.

# Chapitre 04: Résultats de Simulation

## 4.1. Introduction

En effet, la simulation sous MATLAB/SIMULINK est un outil très utile pour comprendre le fonctionnement d'un système PV connecté à une charge. En simulant différentes conditions, telles que des variations de température ou d'ensoleillement, nous pouvons observer comment le système réagit et comment il peut être optimisé pour maximiser son rendement.

De plus, l'analyse des éléments de la structure est également importante car elle permet de vérifier si le système est bien conçu et s'il répond aux normes de sécurité en vigueur. Cela inclut notamment l'étude des câbles, des protections électriques et des composants électroniques.

En somme, cette simulation nous permettra d'avoir une vision globale du fonctionnement d'une installation PV connectée à une charge et nous aidera à mieux comprendre les différents éléments qui la composent.

Dans le premier cas on réalisera le schéma qui est représenté ci-dessous :

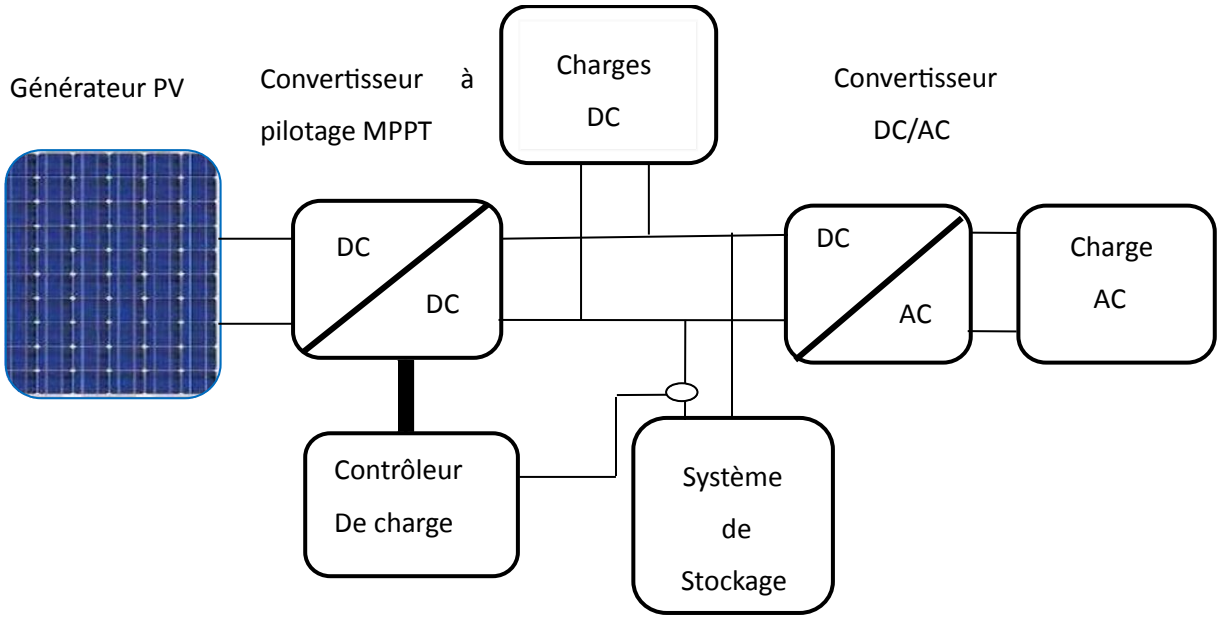


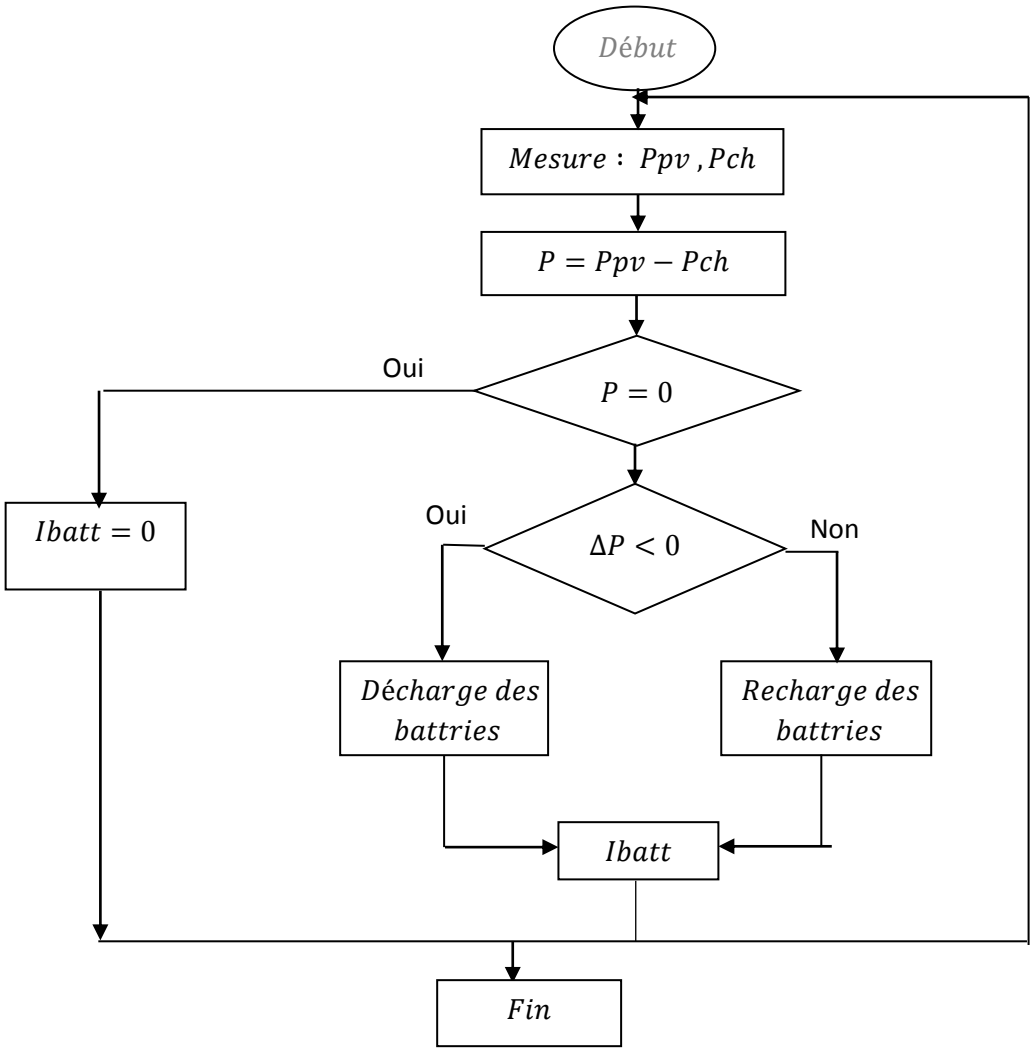

**Figure 4.1 :** Schéma de principe d'installation PV Boost Charge

## 4.2. Principe de fonctionnement de la gestion de puissance

La gestion optimale de l'énergie est essentielle pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité du système photovoltaïque. Le module de gestion joue un rôle crucial dans cette tâche en surveillant et en régulant les flux d'énergie entre les différents composants du système. Il

permet également de contrôler le processus de charge et de décharge des batteries, ce qui est particulièrement important pour maximiser leur durée de vie et leur efficacité.

Le module de gestion doit être capable de gérer efficacement l'énergie provenant des panneaux solaires, ainsi que celle stockée dans les batteries, afin d'assurer une alimentation stable et fiable à la charge. Il doit également être capable d'adapter la puissance fournie en fonction des besoins de la charge, afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie produite par les




panneaux solaires

**Figure 4.2** Organigramme de gestion d'énergie

## 4.3. Les composants utilisés sont

**-Des modules PV** délivrant une puissance (kW) dans les conditions optimales à 650 W/m² d'irradiance solaire et 15 °C de température.

**Convertisseur DC-DC average BOOST** augmentant la tension de sortie des modules PV. Le rapport cyclique est optimisé par un régulateur MPPT utilisant la technique « Perturbe and observe».

Cette simulation se fera sous Simulink comme sur la figure :

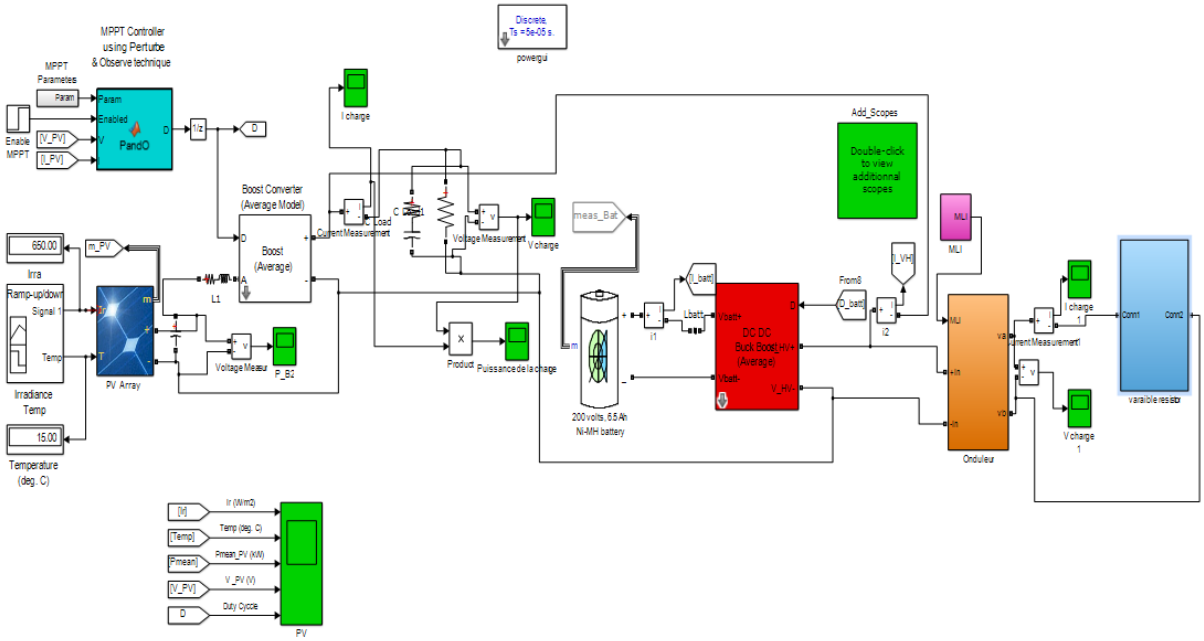



**Figure 4.3 :** Schéma de simulation global PV- Hacheur boost-Buck boost- Onduleur MLI-Charge Variable

**Caractéristiques électriques du panneau :** Sun Power (SPR-305E-WHT-D)

**Tableau 4.1 :** caractéristique électrique du panneau utilisé en condition STC

| **Mesurées dans des conditions de test standard : Irradiance de 1000 W/m² et 25 °C de température.** | |
|---|---|
| **Puissance maximal (W)** | 305.22 |
| **Tension à puissance maximale (V)** | 54.7 |
| **Courant à puissance maximale (A)** | 5.58 |
| **Tension en circuit ouvert (V)** | 64.2 |
| **Courant en court-circuit (A)** | 5.96 |
| **Nombre de cellule par module (Ncell)** | 96 |

l est important de prendre en compte ces spécifications techniques lors de l'installation du module solaire. En fait, le nombre de panneaux solaires et de batteries nécessaires dépend de la puissance requise pour faire fonctionner l'appareil. Dans ce cas précis, il faut disposer de 7 panneaux solaires d'une puissance de 305 W sous à 54,7 V et deux batteries acides d'une capacité de 24 v 770 A pour l'alimentation.

Il est également important de s'assurer que les panneaux solaires sont installés dans un endroit où ils peuvent recevoir suffisamment de lumière solaire pour produire la quantité d'énergie nécessaire. De plus, les batteries doivent être régulièrement entretenues pour assurer leur durabilité et leur efficacité.

Les résultats de la simulation du module PV sous les conditions standard (E=650 W/m² et T=15 °c) représentent les caractéristiques **Courant-Tension (I-V)** et **Puissance-Tension (P- V)** et sont représentés par les figures ci-dessous :

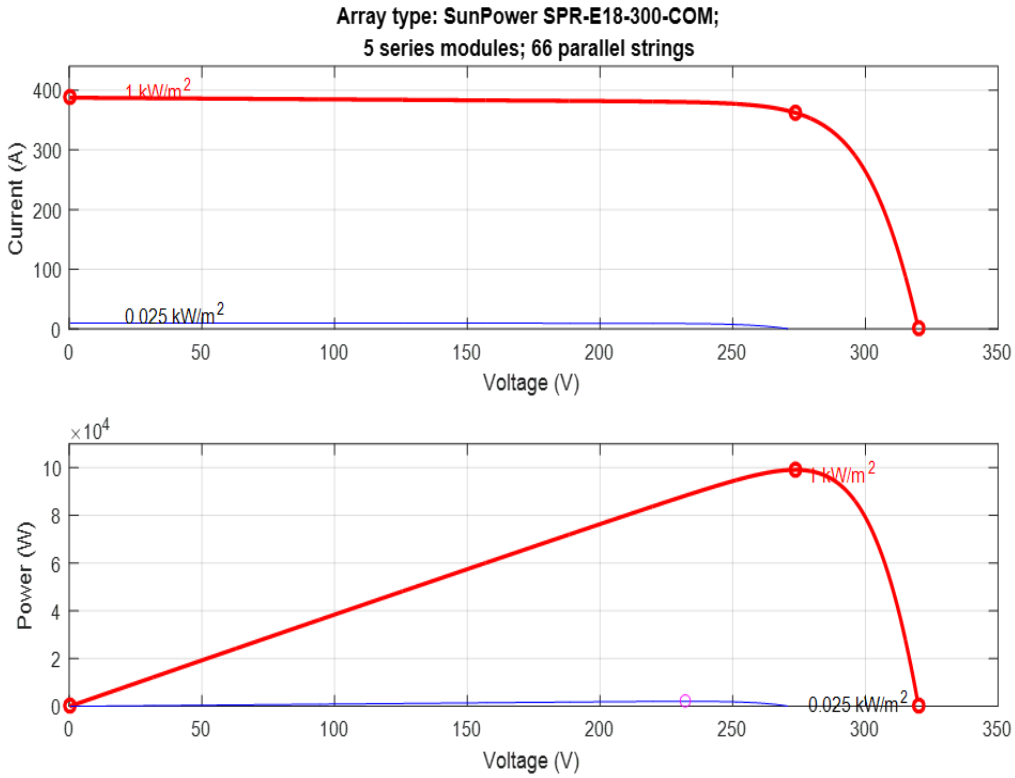



**Figure 4.4.** Caractéristique I-V et P-V des panneaux utilisés sous différentes conditions

## 4.4. Scenario de la simulation

D'abord on commencera par une irradiance et une température

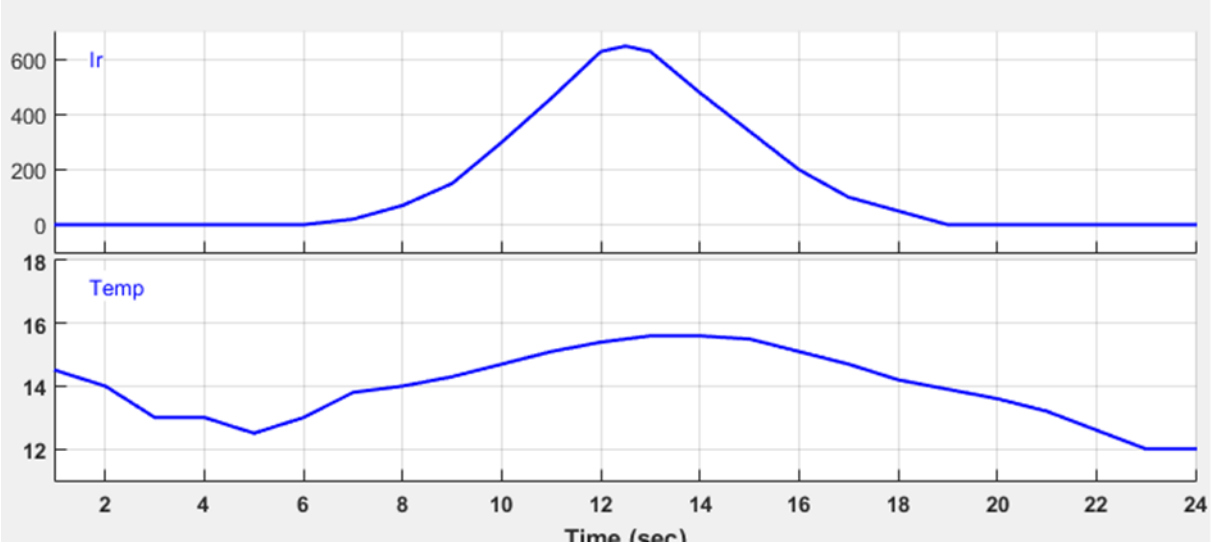



**Figure 4.5.** Irradiance et température

Représente la variation de l'irradiance et température réelle en fonction du temps.

La température varie entre deux valeurs (T = 12 et T = 16 ).

## 4.5. Résultat de simulation

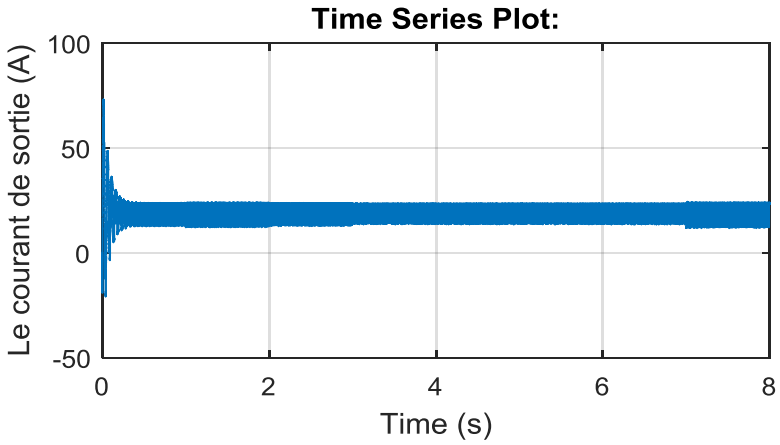



**Figure 4.6.** Le courant de sortie hacheur

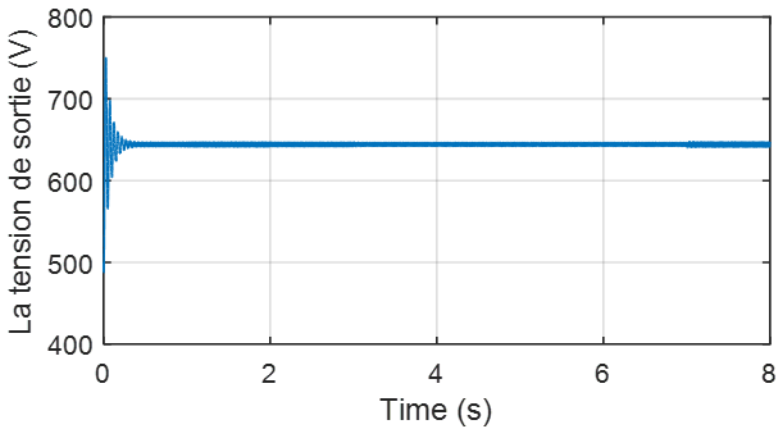


**Figure 4.7.** La tension de sortie hacheur

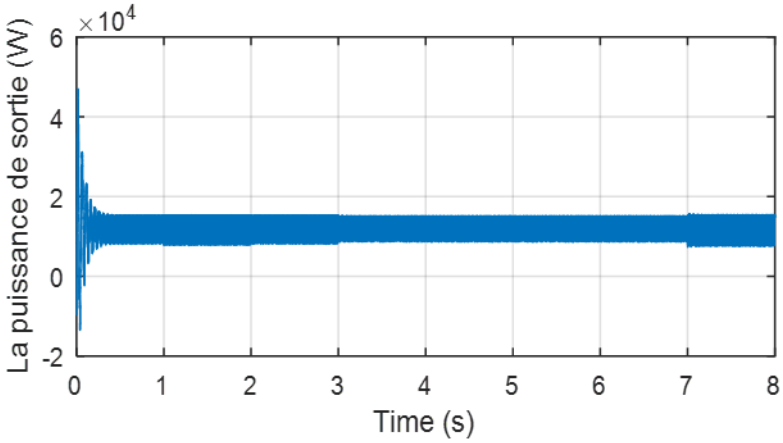



**Figure 4.8.** La puissance de sortie hacheur

D'après les figures (Figure 4.5 et 4.6) la valeur de tension et courant avec la puissance sortie d'hacheur inférieur à celles de PV car la commande MPPT

Ce profil de charge est utilisé pour exprimer les modes de fonctionnement du système Photovoltaïque autonome .

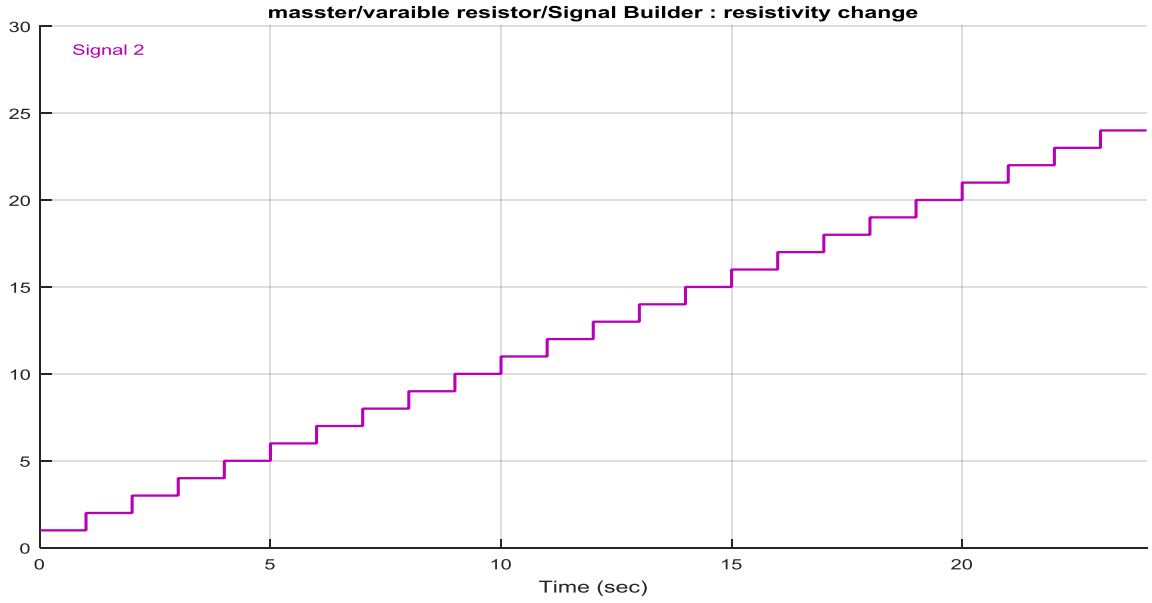



**Figure 4.9.** Variation de change

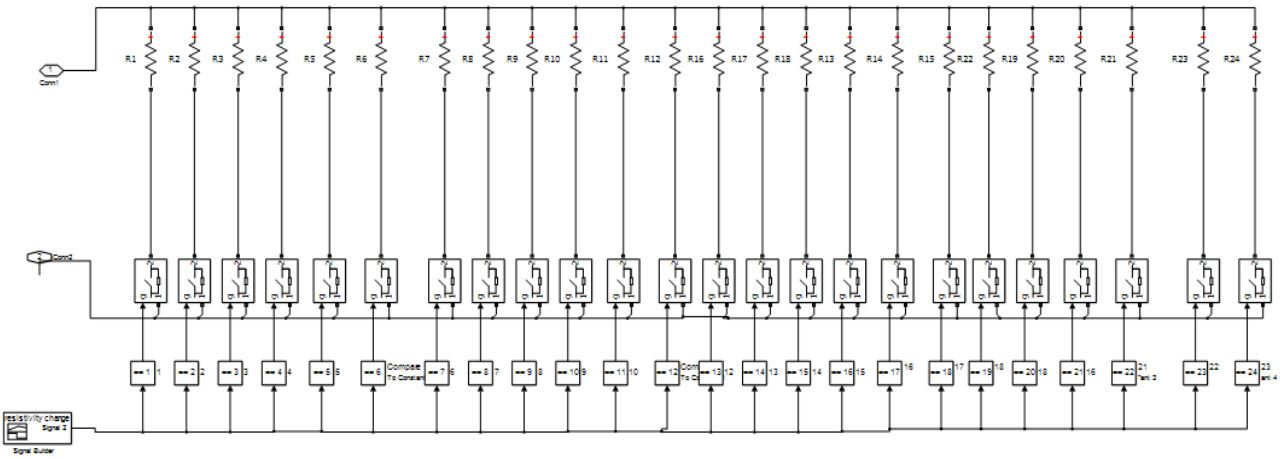



**Figure 4.10.** Variation résistive

Cette figure représente un circuit électrique avec 24 résistances variables, chacune représentant la consommation d'énergie par heure. Lorsque le temps est égal à 1, le courant passe dans la première résistance, puis dans la deuxième et ainsi de suite jusqu'à la dernière résistance. Cela permet de modéliser la consommation d'énergie sur une période de 24 heures. En ajustant les valeurs des résistances, on peut simuler différents scénarios de consommation d'énergie et évaluer leur impact sur le coût et l'efficacité énergétique. Cette approche peut être utile pour concevoir des systèmes de gestion de l'énergie pour les bâtiments ou les réseaux électriques.

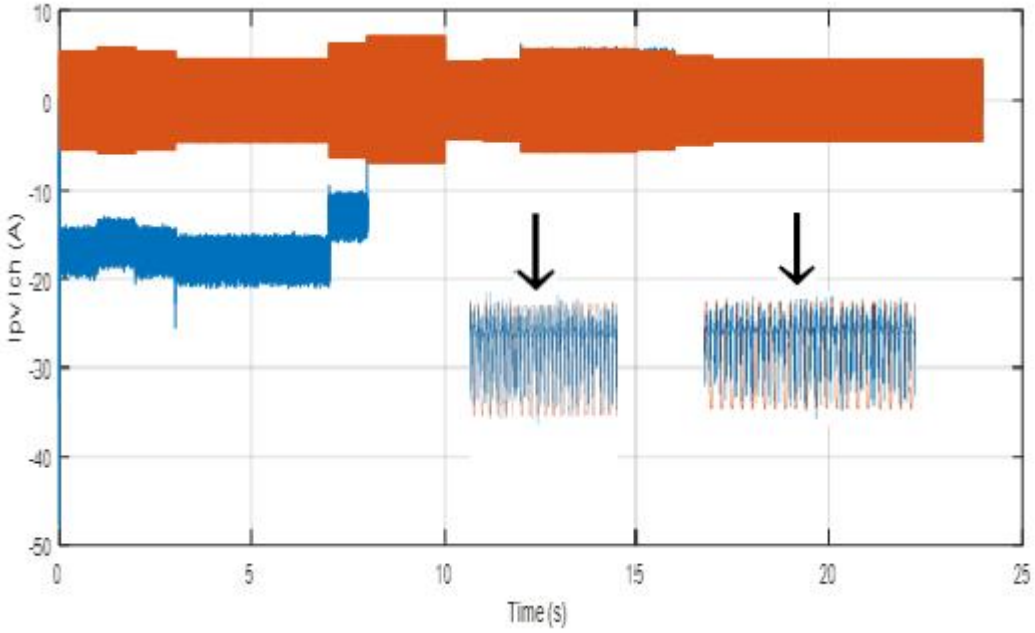



**Figure 4.11.** Le courant charge et décharge de batterie

Dans la figure correspondante en orange, la consommation de courant électrique et la courbe bleue indiquent la charge et la décharge de la batterie, qui correspondent à la consommation

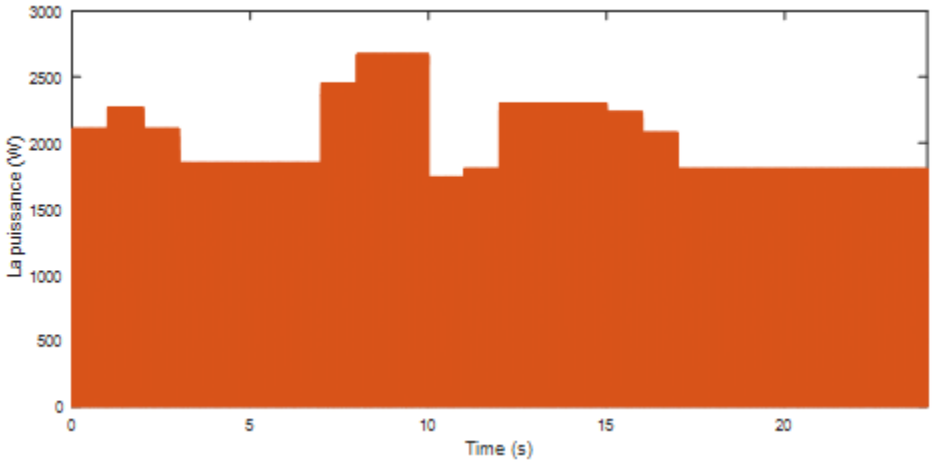



**Figure 4.12.** La puissance consommée par jour

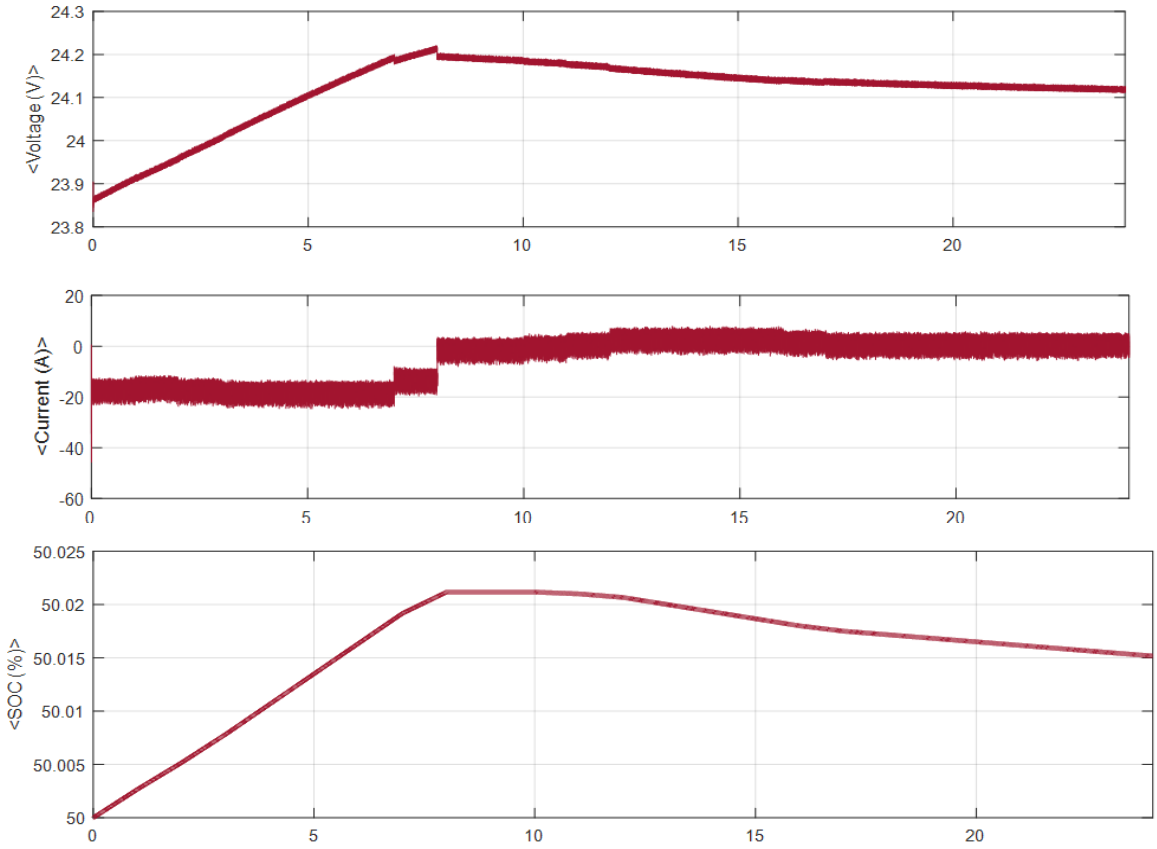



**Figure 4.13.** V batteries, I batteries, SOC,

Dans ces graphes, on remarque que les périodes charge/décharge de la batterie au niveau du SOC respecte les consignes données au niveau du régulateurs, ce qui montre la variabilité dynamique de la batterie.

Le courant de la batterie reflète également cette capacité d'adaptation, en étant négatif lorsqu'elle se charge et positif lorsqu'elle se décharge.

De plus, lorsque la puissance maximale du générateur photovoltaïque est supérieure à la puissance de charge requise par les batteries, celles-ci se chargent automatiquement. Ces observations soulignent l'importance d'une gestion efficace de l'énergie pour optimiser les performances du système et prolonger la durée de vie des batteries.

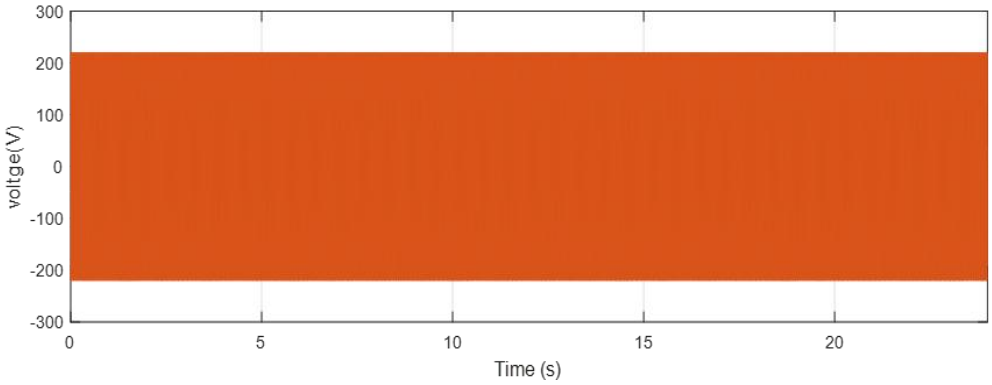



**Figure 4.14.** Les tensions simples extraite du réseau

## 4.6. Conclusion

En d'autres termes, le dernier chapitre de notre étude s'est concentré sur la simulation de la conversion de l'énergie photovoltaïque. Il est devenu possible de mieux comprendre les mécanismes de conversion de l'énergie photovoltaïque et d'améliorer les performances des systèmes résultants. Nous avons mis en évidence l'importance de maximiser la chaîne de conversion pour des rendements optimaux, ainsi que la nécessité d'une gestion efficace de l'énergie des systèmes avec stockage. Ces résultats sont essentiels pour le développement et l'amélioration des technologies photovoltaïques, qui jouent un rôle crucial dans la transition de l'énergie vers des sources renouvelables et durables, Qui impliquent des perturbations et des observations pour améliorer les performances du système. Nous avons également présenté une méthodologie pour l'élaboration du Code de Gestion de l'Énergie d'un système photovoltaïque avec stockage, en tenant compte des différences d'éclairage et de température. L'objectif principal était de prouver que notre composition fonctionne efficacement en fournissant le maximum d'énergie possible. Ces résultats sont nécessaires pour assurer l'utilisation optimale des

ressources énergétiques renouvelables et contribuer à la transition vers une société plus durable.

# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches ont conduit à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne les systèmes photovoltaïques. Ce dispositif est amené à connaître des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production et d'un meilleur respect de l'environnement.

Ce travail a donc porté sur la modélisation et la simulation d'un système : photovoltaïque moyennant le logiciel MATLAB (Simulink). Nous avons procédé à cette étude en quatre étapes **:** définition et généralité sure les systèmes photovoltaïques, les convertisseurs statiques, la méthode de poursuite de point de puissance maximale et système photovoltaïque connecté a la commande (MPPT) enfin **la** simulation de tout l'ensemble**.**

Dans la première partie on parler sure les bases de la cellule solaire et le schéma équivalant de la cellule solaire et de l'effet photovoltaïque.

Après on a parlé sure les convertisseurs DC-DC est on a opté pour le convertisseur survolteur « BOOST » la raison c'est que le panneau ne génère pas assez de tension donc il faut utiliser le BOOST pour augmenter sa tension et ainsi augmenter la puissance de notre installation.

Le convertisseur DC-DC nous a facilité la tâche de développement d'un modèle de recherche du MPPT en Simulink.

Ensuite, on a étudié la commande MPPT numérique « perturbation et observation ». Cette commande MPPT numérique utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale. Pour produire cette puissance et obtenir une efficacité maximale, l'ensemble du panneau photovoltaïque doit fonctionner à ce point particulier.

Enfin, on a utilisé un onduleur triphasé (convertisseur DC-AC) pour transformer le courant continu en courant alternatif, qui transfèrera ce courant en réseau domestique. Nous avons démontré tout le processus en utilisant Matlab/Simulink qui a englobé toute ces parties pour

simuler un Panneau photovoltaïque.

Les résultats obtenus lors de la simulation ont démontré que les convertisseurs et la commande MPPT « perturbation et observation » effectuent correctement leurs rôles.

Nos perspectives, d'après ce travail, est de pouvoir raccordés une installation photovoltaïque pour subvenir aux besoins en énergies électriques, et optimiser cette installation afin d'avoir un meilleur rendement et une puissance optimale

# Bibliographie

## Bibliographie

[1] Sfer 2015, Les cellules https://www.leguideduchauffage.com/le-solaire.html

[2] B. zerguine"Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque"2012
mémoire de magister, Département d'électrotechnique

[3] Mohammed Ahmed, "Study of interconnecting issues of photovoltaic/wind hybrid system with electric utility using artificial intelligence", Electrical engineering dept., faculty of engineering, El-Minia University, 2006.

[4] B. Bendib, "Techniques conventionnelles et avancées de MPPT pour des applications photovoltaïques: étude comparative", Mémoire de Magister, Département d"Electronique, Université Ferhat Abbes-Sétif, 2007.

[5] Miloudi lalia, "Etude et simulation de la poursuite de la trajectoire du soleil par un panneau solaire photovoltaïque", Mémoire de Magister, département d"Automatisation et électrification des procédés industriels, Université M"Hamed Bougara - Boumerdes 2011.

[6] Bernard EQUER « Energie solaire photovoltaïque », volume 1, publié par Ellipses Editions Marketing et l"UNISCO 1993.

[7] KHENFER Riad, "Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques", thèse de Doctorat, département d"électrotechnique, Université Ferhat Abbes-Sétif 1, 2015.

[8] Angel Cid Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques", thèse de Doctorat : Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008.

[9] M. Djaralllah, "Contribution à l"étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique,". Thèse de doctorat en sciences, Universite de Batna 2008.

[10] B.Mohammed, "Modélisation d"un système de captage photovoltaïque autonome," mémoire de Magister, Centre universitaire de Bechar, 2008.

[11]A. Reinders, "A design method to assess the accessibility of light on PV cells in an arbitrary geometry by means of ambient occlusion," in Proceedings of 22nd of photovoltaic solar energy conference and exibition. Milan. 2007.

[12] A. Woyte, J. Nijs, and R. Belmans, "Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results," *Sol. Energy*, vol. 74, no. 3, pp. 217–233, 2003.

[13] H.-L. Tsai, C.-S. Tu, and Y.-J. Su, "Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK", in Proceedings of the world congress on Engineering and computer science, vol. 2008, pp. 1–6, 2008.

[14] Olivier GERGAUD, Modélisation énergétique et optimisation économique d‟un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur, Ecole normale supérieure Cachan, 2002.

[15] YANN RIFFONNEAU, Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau, Université Joseph Fourier 2009.

[16] Mohamed Redha Yaiche et Abdellah Bouhanik « Atlas Solaire Algérien » Ministère de l‟enseignement Supérieur et de la recherche scientifique direction générale de la recherche scientifique et du développement technologique centre de développement des énergies renouvelables, dépôt légal 2062-2002.

[17] Ministère de L‟énergie et des Mines-Guide Des Energies Renouvelables, potentiels national des énergies renouvelables.2016

[18] Le Ministère de L‟énergie et des mines conception et réalisation satinfo société du groupe Sonelgaz « programme des energies renouvelables et de l‟efficacité énergétique » mars 2011.

[19] El Ayam-2 / 16 Juillet 2011.

[20]http://energies-solaire.over-blog.com/article-30557596.html?fbclid=IwAR3UJS_NLqvp0dUGyjhErHIUIIA8BL7XbE_7-K5KfLZDUBvLTpK9vH213Oc

[21]http://www.elysun.fr/module-photovoltaique-polycristallin-230w.html?fbclid=IwAR2aYtVBDy0TqLHXDjeN3Pb5KJYNOzrxTumdQ5VF1IRatLCHYF6CDH9g6VI

[22]https://www.consofutur.com/les-installations-ecologiques-2877/?fbclid=IwAR3LHa_fnN7aUidna3Co-IwTpTXjCEPyiZxgQ_xT_P44oTDY0aCzZDLuci8

[23] https://www.reseqrchgate.net/figure/description-dune-photopile-ou-cellule-photovoltaique-ll3-modelisation-dune-cellule-fig1-342048390

[24] stage professionnel : mise en place d’un système de pompage photovoltaïque 2013

[25] Mémoire De Fin D’étude En Vue De L’obtention Du Diplôme Master En Electrotechnique Option : Commande Electrique .THEME :Etude et Réalisation d’un Hacheur Boost Commandé par le µC ARDUINO en vue d’Implémenter des Commandes MPPT 2011.

[26] [01] Labouret A, Energie solaire photovoltaïque, Michel Villoz, Dunod, 3e édition, Paris2006

[27]http://www.cipcsp.com/tutorial/dimensionnement-solaire.html?fbclid=IwAR0H8cZsKxygSFOEvp_xc7P5P6ouYMXzauAEAk4uwFMd4J_2becYSIdbKbA

[28] M. Abdelaziz Hamzaoui, «Optimisation de la production de l'électricité renouvelable pour site isolé », Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne. 2012

[29] ] M. Yousef, «Etude de raccordement d'un système photovoltaïque au réseau électrique», Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.

[30] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisé dans un réseau basse tension». Thèse de doctorat de l'école National supérieure d'Art et Métiers, décembre 2004.

[31] M. Mchalikh et CH.Hmada, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau», Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013

[32] V. I. UTKIN , « Discontinuous control system : state of art in theory and pplication » , Ed. MIR, Moscou 1978

[33] M. Makhlouf, "Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage", mémoire de magister, univ.Mentouri Constantine, Algérie, 2014.

[34] T. Youssef, «Commande aléatoire du convertisseur Buck-Boost triphasé à prélèvement sinusoïdal du courant », Thèse de Doctorat, Université de Clermont-Ferrand, 2006

[35] BERREZZEK FARID, «Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone», Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba,2006

[36] T. T. Guingane, Z. Koalaga, E. Simonguy, F. Zougmore, D. Bonkoungou ,« Modélisation et simulation d'un champ photovoltaïque utilisant un convertisseur élévateur tension (boost) avec le logiciel MATLAB/SIMULINK » , UFR/SEA, Université Ouaga 01 , 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso , 2016

[37] N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT» Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009

[38] Akihiro Oi , « Design and simulation of photovoltaic water pumping system » , A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo , September 2005.