

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



Année : 2019

Faculté: **Sciences de l'ingénierat**

Département: **Électrotechnique**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de: **MASTER**

Intitulé

MODELISATION ET COMMANDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

DOMAINE : **Sciences et Technologies**

Filière : **Électrotechnique**

Spécialité : **Commande électrique**

Présenté par :

BOUKERCHE Ali

ZERMANE Akram Issam

Devant le Jury

- Présidente	KELAIAIA.S	MCA	UBMA
- Rapporteur	BAHI.T	PR	UBMA
- Examineur	BENSIALI.N	MCA	UBMA
	ZERZOURI.N	MCA	UBMA

Remercîment

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : BAHY Tahar, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail d'initiation à la recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

On remercie également les étudiants deMaster électrotechnique promotion 2018/2019 pour leur aide morale durant tout Notre cycle d'étude.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

- *Mon père qui est et qui restera pour toujours mon exemple*
- *Ma mère pour son soutien indéfectible*
- *Mes chères sœurs et mes chères frères*
- *Ma tante et son marie pour leur soutien moral*
- *Mon oncle*
- *Mes cousins et cousines*

Dédicace :

*Je dédie ce modeste
travail à mon père,
ma mère et mon
frère qui ont fait des
sacrifices et crus en
moi tout au long de
mon parcours
scolaire et
universitaire, a mes
grands parents qui*

*n'ont cessé de prier
pour moi, a mes
oncles et tantes et a
tous mes amis qui
m'ont toujours
soutenue*

*Je vous remercie
tous.*

A.ZERMANE

Résumé

L'Energie renouvelable est une option énergétique prometteuse qui répond à la demande croissante en énergie dans le monde grâce à son inépuisable, sa fiabilité et surtout son caractère non polluant.

L'objectif du travail réalisé dans ce mémoire consiste à l'étude d'un système solaire photovoltaïque, sa modélisation et sa commande, cette étude propose le basculement de l'alimentation de la charge entre un système photovoltaïque et un réseau de distribution, ceci grâce à un inverseur de source automatique avec priorité de l'alimentation de la charge par le système photovoltaïque si les conditions météorologiques permettent la satisfaction du besoin énergétique de la charge.

Le système complet a été programmé et simulé sous l'environnement MatLab et le côté puissance grâce au logiciel Schemasplic 3.0.

Mots clés :

Energie renouvelable, énergie solaire, gestion de source, commande simulation

Abstract

Renewable energy is an energy option that meets the demand for energy in the world thanks to its unalterable, reliable and above all its non-polluting character.

The objective of the work carried out in this thesis is to study a photovoltaic solar system, its modeling and its control

This study proposes the switching of the power supply of the load between a photovoltaic system and a distribution network, this thanks to an automatic source inverter with priority of the supply of the load by the photovoltaic system if the meteorological conditions allow the satisfaction the energy requirement of the load.

The complete system was implemented in the MatLab simulator and completed with a simulation with the Schémaplic software.

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE 1

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

1.1 Introduction.....	3
1.2. Effet photovoltaïque et la jonction P-N.....	4
1.3 Le dopage du silicium	5
1.4 Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques.....	7
1.4.1 Monocristallines.....	7
1.4.2 Polycristallines.....	8
1.4.3 Amorphe.....	9
1.5 Configuration, avantages et inconvénients.....	10
1.6 Générateur PV et ses performances.....	11
1.6.2 Variation d'éclairement sur la caractéristique tension-courant.....	12
1.7 Conclusion.....	13

CHAPITRE 2

CAHIER DES CHARGES ET DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

2.1 Introduction.....	14
2.2 Les composants d'un système photovoltaïques.....	14
2.3 Cahier des charges.....	15
2.4 Calcul et dimensionnement.....	16
2.4.1. Tableau et schéma récapitulatif de calcul des puissances.....	16
2.4.2 Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	17
2.4.3 Dimensionnement du régulateur de charge.....	18

2.4.3.1. Calcul et choix du régulateur de charge.....	18
2.4.3.3 Critère de choix du régulateur MPPT.....	20
2.4.4 Choix et dimensionnement des batteries de stockage.....	20
2.4.4.1 Calcul de la capacité de stockage.....	20
2.4.4.2 Règles fondamentales pour un couplage des batteries.....	21
2.4.5 Schéma descriptif globale de l'installation.....	22
2.4.6 Calcul et choix de l'onduleur.....	23
2.5 Inclinaison et orientation des panneaux solaire.....	24
2.6 Conclusion.....	26

CHAPITRE 3

ETUDE ET CARRACTARISATION SOUS MATLAB/SIMULINK D'UNE CHAINE PHOTOVOLTAIQUE

3.1 Introduction.....	27
3.2 Présentation de l'outil Matlab/Simulink.....	27
3.3 Présentation des Panneaux solaire condor.....	28
3.3.1 Caractéristique électrique du Panneau Condor polycristallin 300wc.....	29
3.3.2 Caractéristique mécanique du Panneau Condor polycristallin 300wc.....	30
3.3.3 Caractéristiques fondamentales par simulation.....	30
3.4 Présentation des hacheurs.....	32

3.4.1 Types des hacheurs.....	32
3.4.2 Fonctionnement.....	34
3.4.3 Prestation de hacheur boost.....	34
3.5 Commande incrémental de la conductance.....	39
3.6 Onduleurs.....	41
3.6.1 Modulation sinusoïdale classique à une seule porteuse.....	42
3.7 Schéma et simulation.....	43
3.7.1 Schéma général du programme Matlab.....	43
3.7.2 Résultat de la simulation pour des paramètres standard.....	43
3.7.3 Résultat de la simulation pour des paramètres modifiés.....	45
3.8 Conclusion.....	46

CHAPITRE 4

GESTION D'UN INVERSEUR DE SOURCE AUTOMATIQUE

4.1 Introduction.....	47
4.2 Inverseur de secours photovoltaïque/réseau électrique.....	47
4.2.1 Inversion avec priorité au photovoltaïque.....	48
4.2.2 Inversion avec priorité au réseau électrique.....	50
4.3 Basculement par gestion d'énergie.....	52
4.3.1 Cahiers des charges.....	52
4.3.2 Solutions proposées.....	52
4.3.3 Application sur le logiciel Schémaplic.....	53
4.4 Conclusion.....	60
Conclusion générale	61

Liste de figure

Figure 1.1 Principe de la conversion photovoltaïque.....	4
Figure 1.2 Illustration de l'effet photoélectrique.....	5
Figure 1.3 Dopage de type N.....	5
Figure 1.4 Dopage de type P.....	6
Figure 1.5 Panneau solaire Photovoltaïque monocristallin.....	7
Figure 1.6 Panneau solaire Photovoltaïque polycristallin.....	8
Figure 1.6 Panneau solaire Photovoltaïque amorphe.....	10
Figure 1.8 Caractéristique u-i d'une cellule solaire.....	11
Figure 1.9 Caractéristique tension puissance d'un module PV.....	12
Figure 1.10 Effet sur la caractéristique tension-courant d'une variation d'éclairement à température interne de 25 °C13.....	14
Figure 2.1 Composants d'une installation solaire photovoltaïque autonome.....	15
Figure 2.2 Consommation d'énergie journalière.....	16
Figure 2.3 Répartition de la puissance (W).....	17
Figure 2.4 Modèle du MPPT 250 /85	19
Figure 2.5 Couplage des batteries.....	21
Figure 2.6 Batterie solaire Rolls 2V 3220Ah.....	22
Figure 2.7 Schéma général de l'installation.....	22
Figure 2.8 Onduleur Quattro 48/5000.....	23
Figure 2.9 Angle d'inclinaison des panneaux solaires par rapport au rayon solaire.....	24
Figure 2.10 Equerre de fixation avec angle ajustable	25
Figure 3.1 Bibliothèque Matlab/Simulink.....	28
Figure3.2 Panneau condor polycristallin 300wc.....	29

Figure 3.3 Caractéristiques électriques.....	29
Figure 3.4 Caractéristiques mécaniques.....	30
Figure 3.5 Caractéristiques courants tensions /puissances tensions.....	30
Figure 3.6 Caractéristiques courants tensions /puissances tensions.....	31
Figure 3.7 : Fonctionnement d'IGBT et diode de l'hacheur parallèle.....	34
Figure 3.8 Schémas d'un convertisseur Boost.....	35
Figure 3.9 Schémas d'un convertisseur Boost (a) k fermé ; (b) k ouvert.....	36
Figure 3.10 Us estimée et Us calculée du Hacheur boost.....	36
Figure 3.11 Tension de sortie et tension d'entrée du hacheur.....	37
Figure 3.12 Pulsation PWM et rapport cyclique.....	37
Figure 3.13 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.2.....	38
Figure 3.14 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.4.....	38
Figure 3.15 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.8.....	39
Figure 3.16 algorithme de la commande incrémental de la conductance.....	40
Figure 3.17 Puissance fournit par le PV pour différentes radiations.....	41
Fig.3.18 Onduleur de tension à deux niveaux.....	42
Figure 3.19 Tension d'entrée du hacheur.....	44
Figure 3.20 Tension de sortie du hacheur.....	44
Figure 3.21 Irradiation et température variables.....	45
Figure 3.22 Tension d'entrée du hacheur.....	45
Figure 3.23 Sortie du hacheur.....	46
Figure 4.1 Présence PV et réseau électrique.....	48
Figure 4.2 Présence de réseau et absence de PV.....	49
Figure 4.3 Présence de PV et absence de réseau.....	49
Figure 4.4 Présence réseau et PV.....	50

Figure 4.5 Absence de réseau présence de PV.....	51
Figure 4.6 Rétablissement du réseau étape 1.....	51
Figure 4.7 Rétablissement du réseau étape 2.....	52
Figure 4.8 Puissance fournit par le générateur photovoltaïque.....	54
Figure 4.9 Courant générer par la source 1.....	54
Figure 4.10 courant générer par la source 2.....	55
Figure 4.11 radiation imposé au générateur photovoltaïque.....	56
Figure 4.12 courant générer par le PV.....	57
Figure 4.13 courant générer par le réseau électrique.....	57
Figure 4.14 Schéma partiel de l'algorithme de basculement.....	57
Figure 4.15 Schéma général de l'algorithme.....	57
Figure 4.16 cas 01 de l'algorithme.....	58
Figure 4.17 cas 02 de l'algorithme.....	59
Figure 4.18 cas 03 de l'algorithme.....	59
Figure 4.19 cas 04 de l'algorithme.....	59
Figure 4.20 cas 05 de l'algorithme.....	60

Introduction générale

L'énergie solaire est une source d'énergie à base du rayonnement solaire elle est renouvelable et inépuisable à l'échelle humaine cependant malgré sa disponibilité, l'énergie solaire reste peu exploitée même sa technologie enregistre un bon développement alors l'énergie solaire est utilisée pour la production de chaleur (solaire thermique) et aussi pour la production d'électricité (le solaire photovoltaïque).

La production de l'électricité à base du soleil utilise le rayonnement lumineux qui est intercepté par des cellules photovoltaïques, ces dernières sont regroupées pour former des modules solaires qui sont aussi regroupés entre eux pour la fabrication du panneau photovoltaïque.

Il est connu que la quantité de puissance produite par un système photovoltaïque dépend du niveau de l'irradiation et de la température, en effet la diminution de ces deux facteurs mènent à la diminution de la puissance qui risque de ne pas répondre au besoin de la charge qui lui est connectée.

Ce caractère d'intermittence exige de prévoir une autre alternative et c'est dans ce cadre que s'inscrit le travail réalisé dans ce mémoire de fin d'étude.

Il s'agit de proposer une solution de gestion de l'alimentation d'un site industriel raccordé à une chaîne de production d'électricités à base d'énergie solaire afin que le site soit alimenté quelque soit les conditions météorologiques.

La solution a consisté à développer un gestionnaire de source (inverseur automatique), celui-ci gère le basculement d'une partie ou de la totalité de la charge en fonction de la puissance fournie par les panneaux photovoltaïques et de la puissance nécessaire à la charge.

Par ailleurs, la lumière du Soleil peut être utilisée pour produire de l'électricité. On utilise pour cela des panneaux composés de semi-conducteurs qui réagissent aux rayons du Soleil. On parle alors d'énergie solaire photovoltaïque. Ces installations sont de plus en plus répandues dans le monde.

L'étude est effectuée en proposant une installation à base de panneaux photovoltaïques en utilisant des panneaux solaires de production locale (CONDOR ELECTRONICS).

Le mémoire est organisé en quatre chapitres, dans le premier chapitre, nous avons rappelé l'état de l'art sur l'énergie solaire, le principe de l'effet photovoltaïque aussi on a fait un survol sur les techniques de dopage des semi-conducteurs utilisé dans le procédé de fabrication des panneaux solaire ainsi qu'une comparaison des différents types de panneaux disponible sur le marché. Pour finir nous avons rappelé les caractéristiques électriques des cellules photovoltaïques.

Dans le deuxième chapitre nous avons fait l'étude du cahier des charges avec ses différents volets tout en évoquant les différents composants primaires d'une installation photovoltaïque, nous avons ensuite effectuer le dimensionnement de notre installation et le choix des paramètres des composants.

Le troisième chapitre a été consacré a la simulation sous le logiciel Matlab de l'installation dimensionné dans le deuxième chapitre, pour se faire nous avons incérer le panneau de production local CONDOR ELECTRONICS dans le Simulink après avoir récupérer ses différents paramètre présent dans le catalogue du fournisseur.

Pour finir, dans le quatrième chapitre nous avons fait des propositions de solution de basculement de sources (photovoltaïque/réseau électrique) pour l'alimentation de notre charge dimensionnée dans le chapitre 2, pour se faire nous avons utilisé le logiciel Schémaplic 3.0 pour la simulation des circuits de puissance et de commande de notre inverseur de source automatisé, et nous avons validé nos solutions en proposant un inverseur de source à 5 modes de fonctionnement

CHAPITRE 1

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

1.1 Introduction

La technologie photovoltaïque permet de transformer une partie de l'énergie solaire en électricité tout en respectant les exigences sur l'environnement. L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie propre, renouvelable particulièrement disponible dans le monde et en plus, elle présente un bilan énergétique et environnemental tout à fait favorable. Pour ces raisons, l'utilisation de système photovoltaïques qui est effectivement basée sur l'énergie renouvelable (solaire) est devenue l'objectif incontournable pour l'humanité pour la production de l'électricité et satisfaire la demande énergétique, sans cesse croissante, à travers le monde. Cette énergie est utilisée pour alimenter des régions isolées ou désertes soit pour l'éclairage, pour le pompage d'eau, pour la charge d'une batterie ou éventuellement pour la connexion sur le réseau électrique public [1].

La technologie photovoltaïque (PV) nécessite essentiellement des panneaux solaires et des convertisseurs statiques. Cependant, puisque l'énergie fournie par les panneaux solaires dépend de l'intensité de l'éclairement (E), de la température (T) qui a leurs tours dépendent fortement de la saison et de la période de la journée, l'utilisation engendre donc un fonctionnement intermittent et irrégulier. Par conséquent, il est impératif de prévoir un système permettant d'extraire la puissance maximale que peut produire les panneaux et ce quel que soit les conditions météorologiques.

Les panneaux solaires sont constitués de modules photovoltaïques qui à leur tour sont composés de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont les éléments

fondamentaux de la transformation de l'énergie solaire, l'effet photovoltaïque et la transformation de l'énergie solaire (photon) en électricité (volt). L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Becquerel. Et aujourd'hui la révolution de l'innovation de la technologie photovoltaïque s'est approuvée et semble être un moyen encourageant pour les affaires. Cette nouvelle solution a pour but d'apporter un changement réel dans les communautés rurales hors zone d'alimentation [2].

1.2. Effet photovoltaïque et la jonction P-N

Une cellule photovoltaïque est constituée de silicium dopé dont le principe de fonctionnement est tel que lorsqu'une cellule photovoltaïque est exposée au rayonnement solaire, les photons de la lumière transmettent leur énergie aux atomes de la jonction P-N, voir la figure 1.1, suivante :

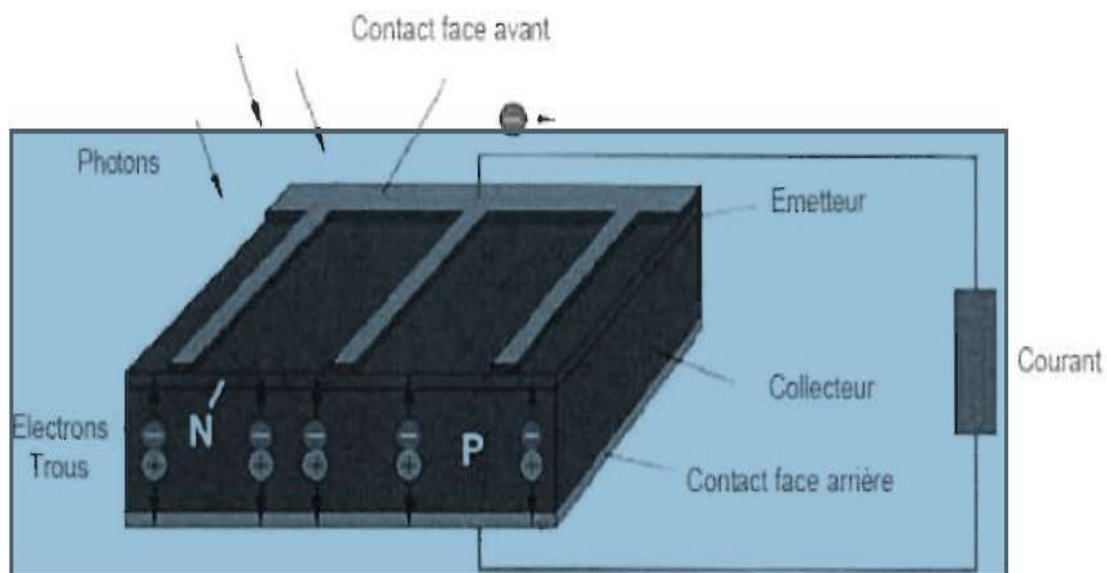


Figure 1.1 Principe de la conversion photovoltaïque

Cette énergie permet aux électrons de libérer des atomes, générant ainsi des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ces charges sont alors maintenues séparées par un champ électrique qui constitue une « barrière de potentiel ». Une fois les charges P et N isolées, il suffit de fermer le circuit entre ces 2 zones (P et N) pour mettre en mouvement les électrons et créer ainsi un courant électrique [4].

Cet effet est donc un transfert d'énergie des photons incidents absorbés par la matière vers un ou plusieurs électrons de la périphérie des atomes du matériau. Les électrons sont alors libérés de l'attraction du noyau de l'atome et ont ainsi assez d'énergie pour pouvoir être accélérés par un champ électrique, ce qui engendre un courant électrique.

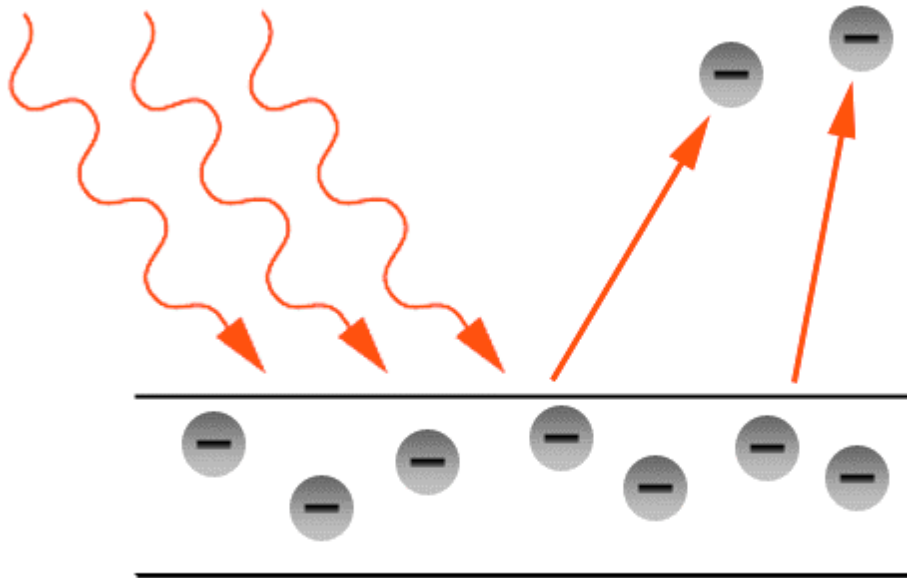


Figure 1.2 Illustration de l'effet photoélectrique

L'énergie des photoélectrons dépend notamment de la fréquence de l'onde électromagnétique

Incidente car $E = h \cdot \nu$ où h est la constante de Planck et ν la fréquence de l'onde en Hz.

Le nombre d'électrons émis est proportionnel à l'intensité de la source électromagnétique (l'ensoleillement) [5].

1.3 Dopage du silicium

Le dopage d'un matériau consiste à introduire dans sa matrice des atomes d'un autre matériau ces atomes vont se substituer à certains atomes initiaux et ainsi introduire davantage d'électrons ou de trous.

De ce fait la couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence supérieure dans la classification périodique, c'est à dire

qui possède plus d'électrons sur sa couche de valence que le silicium. Le silicium possède 4 électrons sur sa couche de valence on peut donc utiliser des éléments de la colonne de l'oxygène, par exemple le Phosphore P. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons supérieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type N.

La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence inférieure au silicium. Il peut s'agir du Bore B par exemple. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons inférieure une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type P.

Lorsqu'on met ces deux semi-conducteurs en contact, on crée une jonction PN, qui doit permettre le passage des électrons entre les deux plaques. Cependant, dans le cas d'une cellule photovoltaïque, le courant ne peut pas s'établir seul : il faut qu'il y ait un apport énergétique, sous forme d'un photon de lumière, pour qu'un électron de la couche N soit arraché et vienne se placer dans la couche P, créant ainsi une modification de la répartition de la charge globale.

Deux électrodes sont placées, l'une au niveau de la couche supérieure et l'autre au niveau de la couche inférieure : une différence de potentiel électronique et un courant électrique sont créés [6].

Il existe donc deux types de dopage :

1. Dopage de type N : consiste à produire une carence en électrons, donc un excès de trous, considérés comme positivement chargés, on utilise pour cela le dopage au Bore :

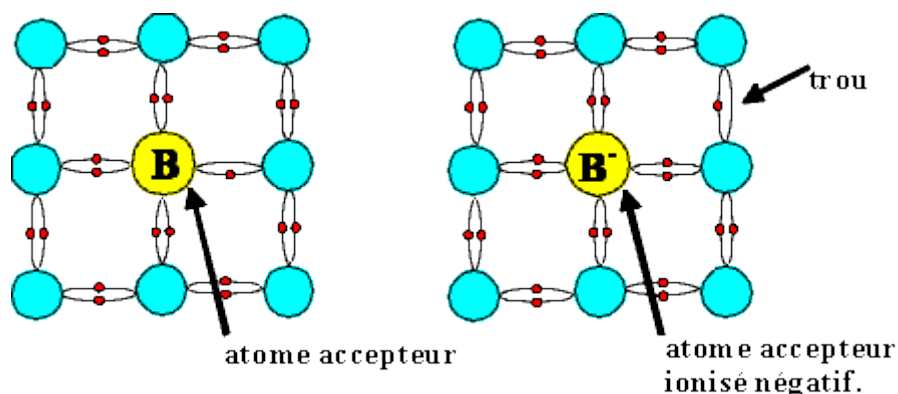


Figure 1.3 Dopage de type N

2. Dopage de type P : consiste à produire un excès d'électrons qui sont considérés comme négativement chargés on utilise pour se faire le dopage au phosphore.

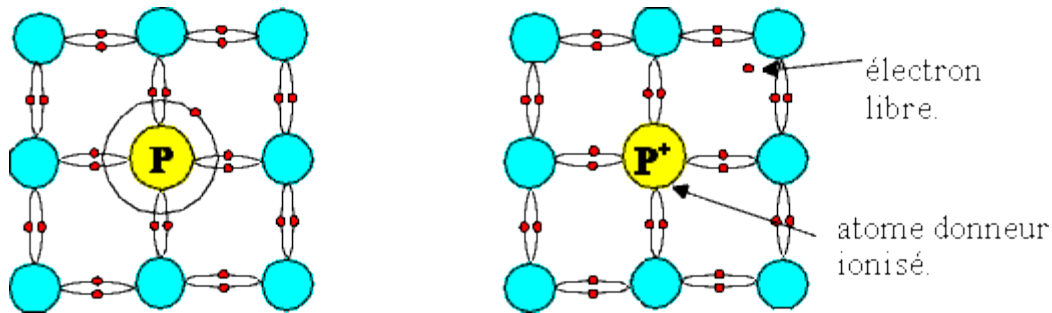


Figure 1.4 Dopage de type P

1.4 Différents types de panneaux solaires photovoltaïques

On distingue actuellement sur le marché trois principaux types de panneaux photovoltaïques, qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent [7].

1.4.1 Monocristallines

Les cellules monocristallines sont issues d'un seul bloc de silicium fondu. Elles sont donc très "pures". Elles offrent le meilleur rendement (entre 13 et 17%), mais sont aussi plus chères à la production, donc à la vente. Ces cellules sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

Ces cellules sont les plus performantes, elles permettent donc de constituer des panneaux qui sont très performants : ceux qui produisent le plus d'énergie avec le moins de surface [8].



Figure 1.5 Panneau solaire Photovoltaïque monocristallin

1.4.2 Polycristallines

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Elles sont en général de forme rectangulaire et sont de couleur bleu nuit avec des reflets [9].

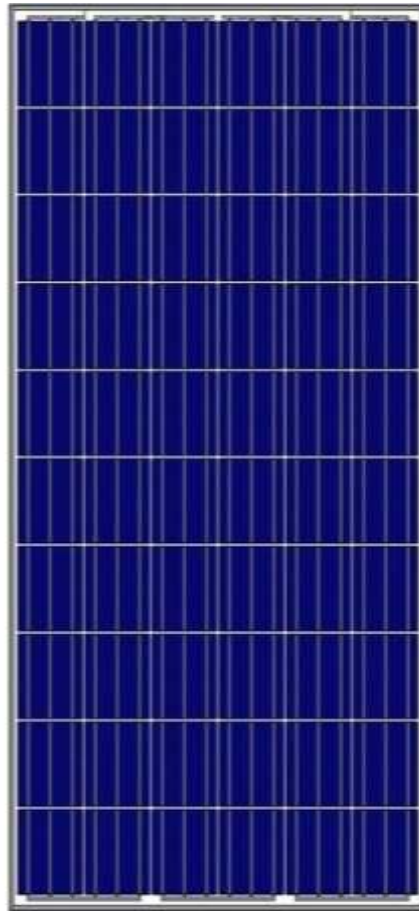


Figure 1.6 Panneau solaire Photovoltaïque polycristallin

1.4.3 Amorphe

Les cellules amorphes sont produites à partir d'un "gaz de silicium", qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires », car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux supports, notamment des supports souples. Le problème c'est que son rendement est 2 à 3 fois plus faible que les cellules monocristallines [10].

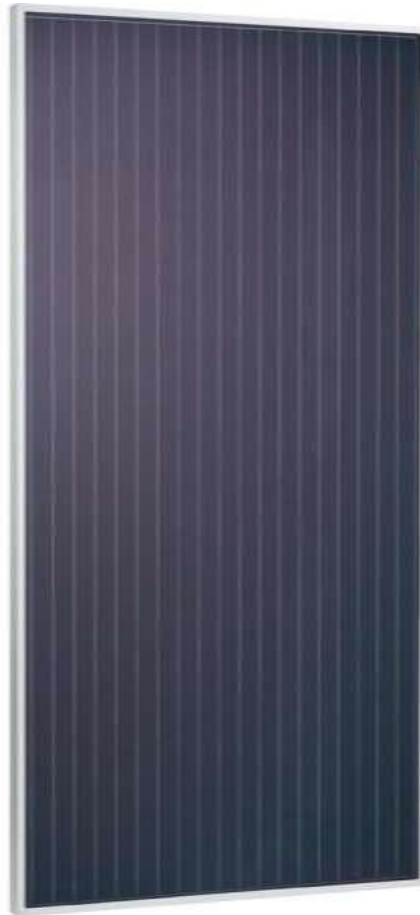


Figure 1.7 Panneau solaire Photovoltaïque amorphe

1.5 Configuration, avantages et inconvénients

Les modules photovoltaïques se composent de cellules photovoltaïques liées entre eux. Ainsi, ces modules peuvent former une unité d'un panneau photovoltaïque complet. Les panneaux photovoltaïques incluent plus d'un module de PV assemblés comme unité pré câblée et peut s'installer sur place comme une unité génératrice de puissance complète [5].

On note les avantages et les inconvénients:

Avantages :

Les avantages du système solaire son nombreux :

- fonctionnement sûr ;
- non polluant ;
- silencieux ;
- presque aucun entretien ;

- rentable en région éloignée.

Inconvénients :

- Ne convient pas aux utilisations à forte consommation ;
- Raccordement au réseau non économique ;
- Coût actuel de la technologie PV élevé.

1.6 Générateur PV et ses performances

1.6.1 Caractéristiques d'un module PV

La caractéristique d'un PV représente la relation $I=f(u)$

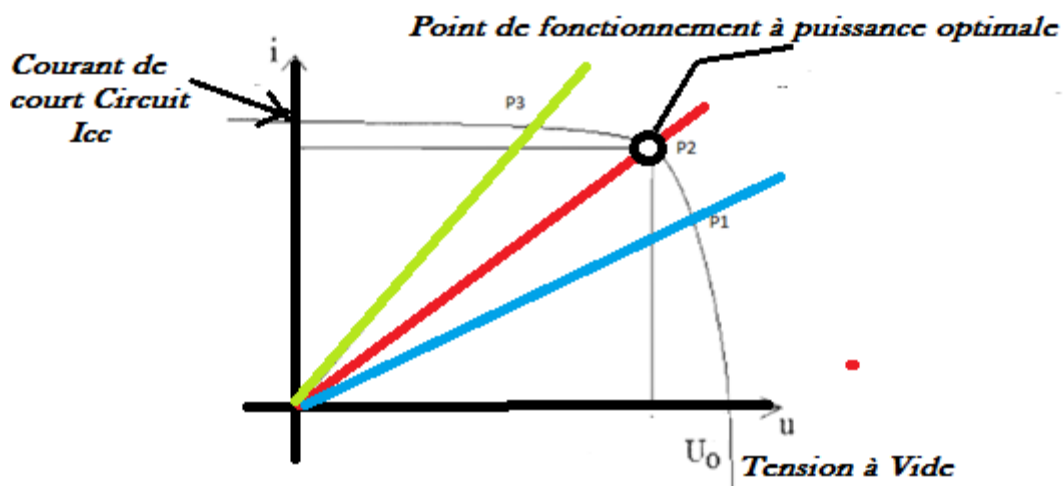


Figure 1.8 Caractéristique $u-i$ d'une cellule solaire

I_{cc} : courant de court-circuit ; U_o : tension à vide ; P_1, P_2, P_3 : points de fonctionnements

La tension fournie par une cellule solaire est assez faible, un peu moins de 0.5 V au point de puissance optimale pour une cellule au silicium cristallin [11]. Cette tension est insuffisante pour la plupart des utilisations, et c'est pour cette raison, un module contient habituellement plusieurs cellules connectées en série et/ou parallèle. Ainsi si le module contient « n » cellules identiques éclairées de la même façon, sa tension est « n » fois plus grande que celle d'une cellule. Par ailleurs, la puissance fournie dépend de la charge à laquelle le panneau est connecté. En effet, la charge fixe le point de fonctionnement : si le point de fonctionnement correspond à un courant nul (fonctionnement à vide) ou à tension nulle (fonctionnement en court-circuit), il est clair que la puissance

débitée $p = u \cdot i$ est nulle. Entre ces deux cas particuliers, la puissance fournie est positive. La puissance correspond à l'aire du rectangle.

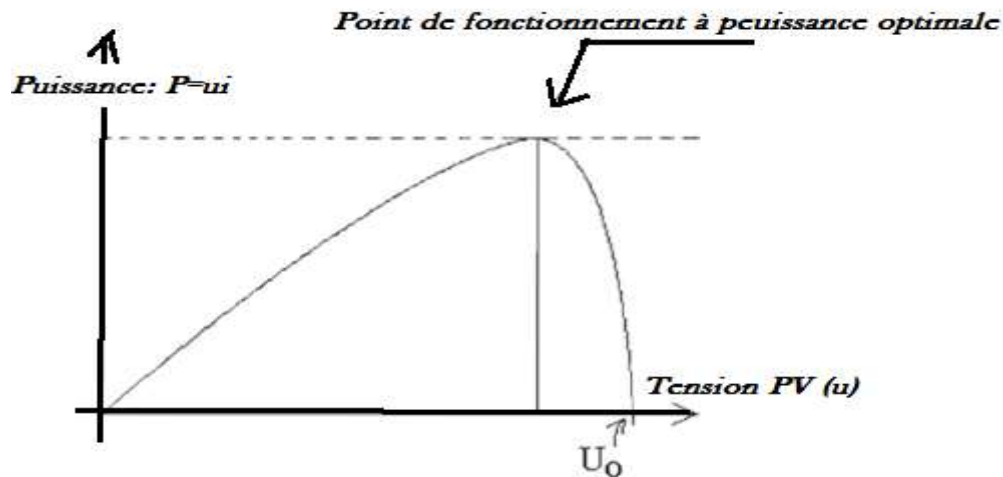


Figure 1.9 Caractéristique tension puissance d'un module PV

1.6.2 Variation d'éclairement sur la caractéristique tension-courant

La caractéristique tension-courant examinée à la figure 1.3 correspond à un éclairement donné (par exemple l'éclairement nominal, de 1000 W/m^2). Pour un éclairement différent, on obtient une courbe présentant la même allure, mais située au-dessus (si l'éclairement est supérieur à 1000 W/m^2) ou en dessous (si l'éclairement est inférieur à 1000 W/m^2). Si l'éclairement est nul, la caractéristique tension-courant passe par l'origine des axes.

En effet, dans le cas contraire, certains points de la caractéristique correspondraient à une production d'énergie, ce qui est impossible dans l'obscurité. Cette caractéristique porte le nom de caractéristique d'obscurité. Tous ses points correspondent à des situations où la cellule absorbe de l'énergie électrique. On observe que les différentes caractéristiques tension-courant correspondant à des éclairements différents ont pratiquement la même forme. Elles sont décalées par rapport à la caractéristique d'obscurité d'une distance proportionnelle au rayonnement solaire incident. Ce décalage s'effectue dans une direction presque verticale du diagramme (voir la droite en pointillés sur le diagramme de la figure 1.10).

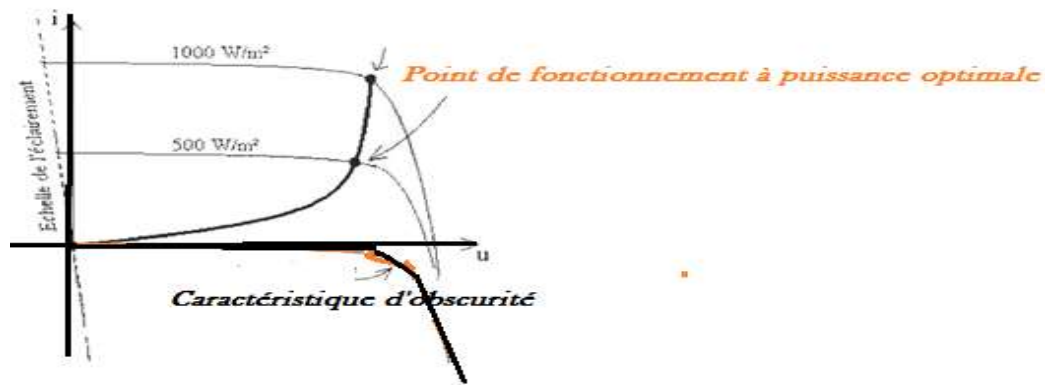


Figure 1.10 Effet sur la caractéristique tension-courant d'une variation d'éclairement à température interne de 25 °C

La tension à vide, nulle dans l'obscurité, croît d'abord rapidement avec le rayonnement, mais prend bientôt une valeur presque constante. Le courant de court-circuit, par contre, reste à peu près proportionnel à l'éclairement jusqu'à des valeurs très élevées de celui-ci.

La tension et le courant correspondant à la puissance optimale croissent aussi avec le rayonnement incident. La figure 1.10 indique quelle est l'allure du lieu des points à puissance optimale [12].

1.7 Conclusion

Ce chapitre est consacré principalement à la présentation de quelques notions fondamentales sur le fonctionnement et les caractéristiques des systèmes photovoltaïques ainsi que le comparatif entre les différentes technologies disponibles sur le marché. Les points caractéristiques : tension à vide, courant de court circuit et puissance maximale relevant des caractéristiques statiques courant-tension et puissance –tension, sous différentes conditions météorologiques ont été discutés en vu de leur considération dans la suite de ces travaux.

CHAPITRE 2

CAHIER DES CHARGES ET DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

2.1 Introduction

Ce chapitre est réservé essentiellement à la présentation en deux grands volets. Pour le premier, on présente le cahier des charges des installations à étudier ainsi que leurs exigences. Concernant le second, on présente les étapes et les procédés de choix des composants des installations.

2.2 Composantes d'un système photovoltaïques

Les composants d'un système photovoltaïque dépendent du type d'application :

En site isolé les principaux composants sont :

- Panneaux photovoltaïques ;
- Régulateur de charge DC/DC ;
- Système de stockage (batteries) ;
- Onduleur si la consommation est alimentée en courant alternatif ;

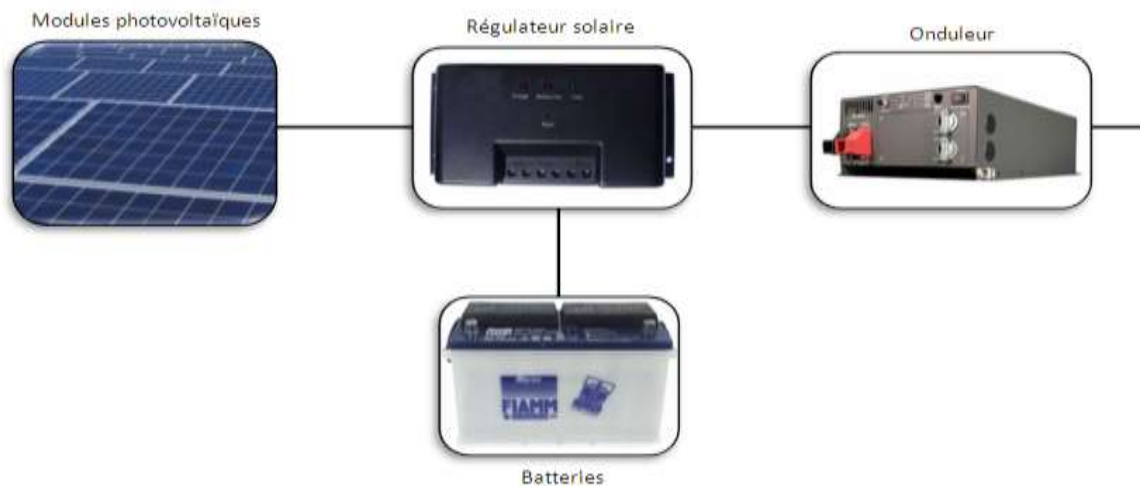


Figure 2.1 Composants d'une installation solaire photovoltaïque autonome

En système photovoltaïque connecté au réseau les principaux composants sont :

- Panneaux photovoltaïques (+ structure de support) ;
- Régulateur de charge DC/DC ;
- Système de stockage (batteries) ;
- Coffret de coupure et de protection courant continu DC ;
- Onduleurs pour la consommation en alternatif ;
- Coffret de coupure et de protection courant alternatif AC ;

2.3 Cahier des charges

Ce projet de fin d'études a pour objectif de proposer une installation de conversion photovoltaïque pour alimenter un site industriel où la charge est répartie presque équitablement en quatre (4) Zones équipés en machines industrielles nécessitant aussi une alimentation en énergie utile.

Pour assurer une stabilité du fonctionnement de l'installation, on prévoit que le site soit alimenté par deux (2) sources, réseau électrique fournit par le fournisseur de réseau électrique qui alimente le site au cas où la source photovoltaïque n'est plus en mesure de produire l'énergie nécessaire pour alimenter le site à cause des conditions météorologiques. Cependant, pour des raisons économiques la priorité est donnée à l'installation photovoltaïque, en sa qualité de source d'alimentation principale pour le site au fil de la journée. Toutefois, au cas où cette source n'est plus en mesure de satisfaire les besoins énergétiques du site, on procède au basculement au réseau électrique de distribution jusqu'à ce que les conditions météorologiques ramènent à la satisfaction en besoin énergétique du site par le système photovoltaïque.

2.4 Calcul et dimensionnement

2.4.1. Tableau et schéma récapitulatif de calcul des puissances

Désignation	P unitaire (W)	Quantité	P (W)	Heure/jour	Consommation d'énergie journalière
lampes	10	20	200	8	1600
poste à souder	1500	4	6000	1	6000
tournage	1250	4	5000	2	10000
fraisage	1200	4	4800	2	9600
perçage	500	4	2000	2	4000

Total consommation	31200
Total puissance	18000

Ceci, nous permet de prévoir le bilan de la consommation journalière en énergie dont la représentation graphique est indiquée par la figure 2.2 et la représentation de la puissance par la figure 2.3.

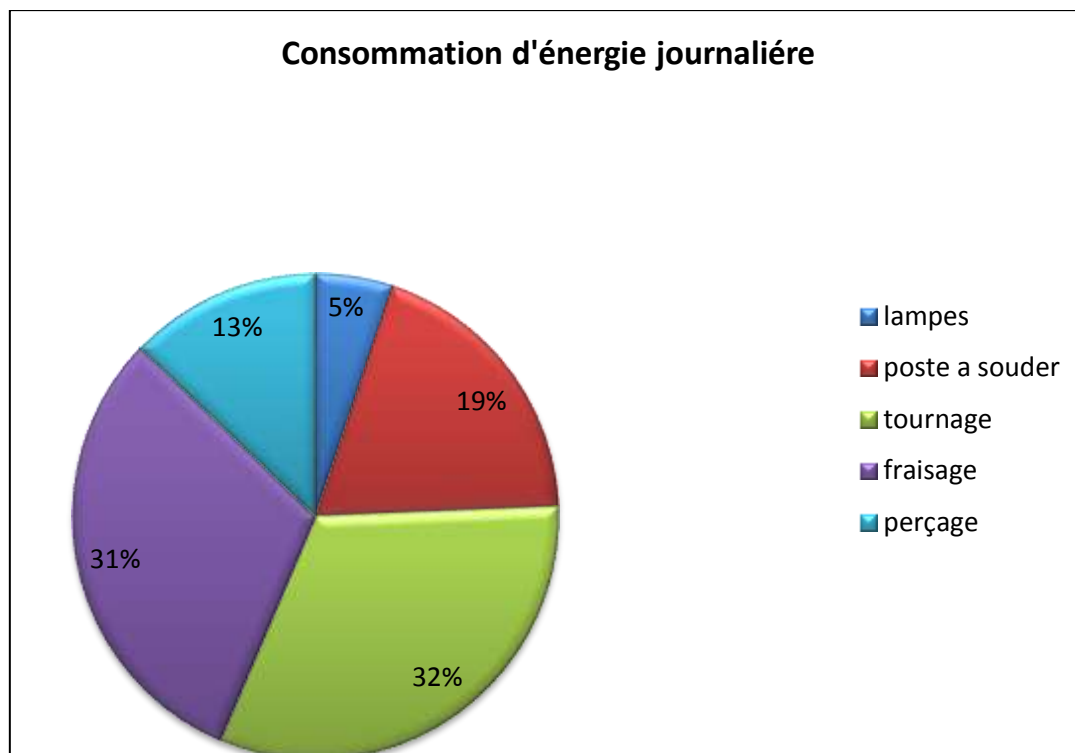


Figure 2.2 Consommation d'énergie journalière

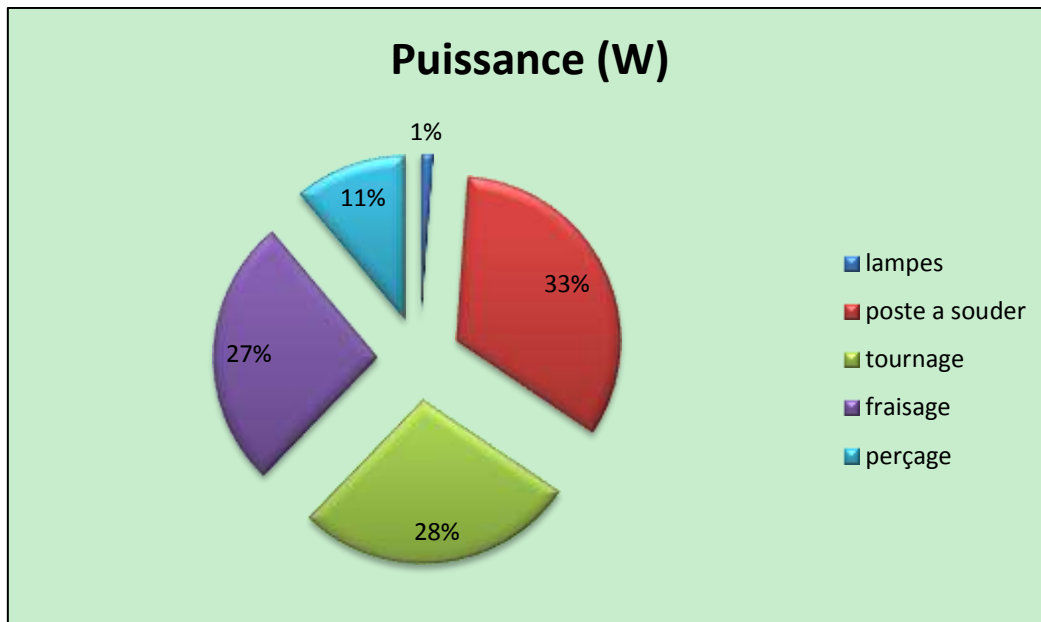


Figure 2.3 Répartition de la puissance (W)

2.4.2 Dimensionnement du champ photovoltaïque

On recherche la puissance (crête, exprimée en W_c) que doit fournir l'installation des panneaux photovoltaïques à installer afin de satisfaire nos besoins en fonction du rayonnement solaire et de la température correspondant à la situation géographique du site [13].

La formule de calcul est la suivante :

$$P_c = B_j / (E_j \cdot R_b \cdot R_i) \quad (2.1)$$

- P_c : Puissance crête (W_c) ;
- B_j : Besoins journaliers = 31200 (Wh/j) ;
- E_j : rayonnement moyen quotidien du mois le plus défavorable ($kWh/m^2/j$) ;
- R_b : rendement électrique des batteries est de 0.85 ;
- R_i : rendement électrique du reste de l'installation est de 0.87.
-

$$D'où \quad P_c = 31200 / (0.85 \cdot 0.87 \cdot 5) = 8439 \text{ W} \quad (2.2)$$

Pour des raisons de compatibilité avec les régulateur de charge disponible sur le marché choisira donc une installation comportant 32 panneaux de type

CONDOR polycristallin de 300W chacun. Ce qui pousse la capacité du champ à 9600W [14].

2.4.3 Dimensionnement du régulateur de charge

2.4.3.1. Calcul et choix du régulateur de charge

Le régulateur de charge est un élément important du système. Il est installé entre les batteries et les panneaux, son rôle principal est de gérer la charge ainsi que la décharge des batteries en fonction de ce que peuvent fournir les panneaux relatif à l'énergie photovoltaïque reçue par ces derniers.

On distingue plusieurs types de régulateurs :

Les régulateurs de charge PWM ou MLI (Pulse Width Modulation ou modulation de largeur d'impulsions) : sont des régulateurs basiques, ils ont pour rôle d'adapter la tension des panneaux au reste de l'installation. Ils sont donc généralement utilisés pour les petites installations de faible puissance du fait de leur facilité d'installation et leur coût très abordable.

Les régulateurs de charge MPPT : sont des régulateurs plus performants grâce à leur micro-processeur ainsi que leurs algorithmes de charges perfectionnés, ils sont considérés comme les régulateurs les plus performants sur le marché à l'heure actuelle. Ce type de régulateur permet d'obtenir jusqu'à 30% de rendement supplémentaire par rapport à un MLI surtout en période de mauvais temps où l'ensoleillement devient faible. Les régulateurs MPPT déterminent constamment et précisément le point de fonctionnement optimal (tension/courant) et ceci pour n'importe quelle valeur de l'ensoleillement reçu [14]

$$P_{mpp} = U_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (2.3)$$

La puissance au point de fonctionnement optimal sera donc convertie en tension de batterie la plus basse possible dans le but de fournir aux batteries un courant de charge le plus élevé possible.

On pourra donc avoir deux régulateur type MPTT 250/85 sur lequel serait connecté : quatre (4) panneaux en série sur 4 parallèles ou bien 2 en série et 8 en parallèle [14].



Figure 2.4 Modèle du MPPT 250 /85

2.4.3.2 Caractéristiques et fiche technique du régulateur MPPT 250/85

Conformément au choix, on présente le tableau donnant les détails et la fiche technique.

Contrôleur de charge SmartSolar	MPPT 250/60	MPPT 250/70	MPPT 250/85	MPPT 250/100
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)			
Courant de charge nominal	60 A	70 A	85 A	100 A
Puissance nominale PV, 12 V ^{1a, b)}	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Puissance nominale PV, 24 V ^{1a, b)}	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Puissance nominale PV, 48 V ^{1a, b)}	3440 W	4000 W	4900 W	5800 W
Courant maxi. de court-circuit PV ²⁾	35 A (30 A max. par con. MC4)		70 A (30 A max. par connex. MC4)	
Tension PV maximale de circuit ouvert	250 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 245 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement			
Efficacité maximale	99 %			
Autocconsommation	Moins de 35 mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V			
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VEDirect ou Bluetooth)			
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VEDirect ou Bluetooth)			
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples			
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	Polarité inversée de la batterie (fusible, non accessible par l'utilisateur) Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe			
Température d'exploitation	-30 à +60° C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40° C)			
Humidité	95 %, sans condensation			
Port de communication de données	VEDirect ou Bluetooth			
On/off à distance.	Oui (connecteur à deux pôles)			
Relais programmable	DPST Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A			
Fonctionnement en parallèle	Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC Oui (pas synchronisé)			
BÔTIER				
Couleur	Bleu (RAL 5012)			
Bornes PV ³⁾	35 mm ² / AWG2 (Modèles Tr.) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4 250/60 et 250/70) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4 250/85 et 250/100)			
Bornes de batterie	35 mm ² / AWG2			
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)			
Poids	3 kg		4,5 kg	
Dimensions (h x l x p en mm)	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215x250x95 mm		Modèles Tr : 216 x 295 x 103 mm Modèles MC4 : 246x295x103 mm	

Tableau des caractéristiques du régulateur MPPT 150/100

2.4.3.3 Critère de choix du régulateur MPPT

Un régulateur type MPTT 250/85 est choisi car il a les caractéristiques suivantes

- 4800W de puissance maximum de panneaux soit un total de 16 panneaux en 300W, on aura une puissance de 9600W par groupe.
- 250V de tension PV maximale de circuit ouvert : nous avons 4 panneaux en série ayant une tension (V_{doc}) de 45V, on aura donc une tension de 182V.
- courant de court-circuit maximal : 4 panneaux en parallèles ayant un courant (I_{sc}) de 49A.

2.4.4 Choix et dimensionnement des batteries de stockage

2.4.4.1 Calcul de la capacité de stockage

Les batteries servent à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux et l'utiliser en cas de besoin ou de manque de puissance.

La capacité (C_{ap}) des batteries exprimée en ampères heure (Ah) :

$$C_{ap} = (B_j \cdot Aut) / (DD \cdot U) \quad (2.4)$$

- C_{ap} (Ah) : Capacité totale des batteries ;
- B_j (Wh/j) : Besoins énergétiques journaliers = 31200 Wh/j ;
- Aut : Nombre de jour d'autonomie (sans soleil) = 2 jours ;
- DD (%) : Degré de décharge maximum des batteries = 30 % ;
- U (V) : Tension finale du parc de batterie = 48 V.

Après l'application numérique on aura

$$C_{ap} = (31200 \cdot 2) / (0,3 \cdot 48) = 4334 \text{ Ah}$$

- Nous aurons donc besoin d'un parc de batteries de 4334 Ah en 48 V.

2.4.4.2 Règles fondamentales pour un couplage des batteries

Les tensions des batteries s'ajoutent lorsqu'elles sont branchées en série, la capacité reste fixe et les capacités des batteries s'ajoutent lorsqu'elles sont en parallèles, la tension reste fixe ces notions sont visualisées par les cas de branchements montres en figure 2.3 [13].

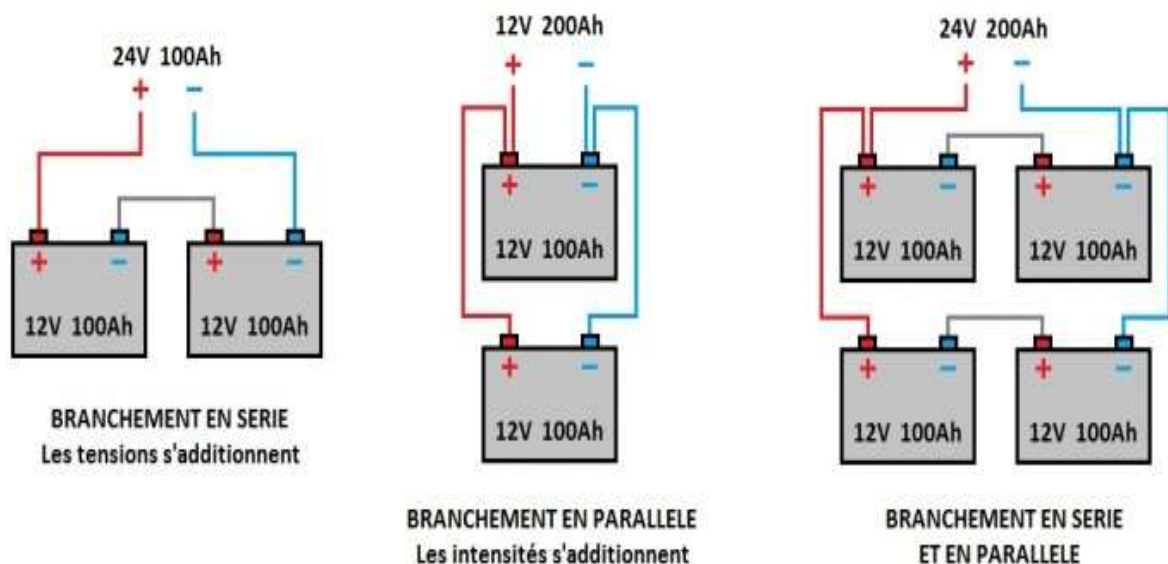


Figure 2.5 Couplage des batteries

Les batteries de type Rolls 2V 3220Ah sont les batteries les plus performantes au niveau du stockage généralement utilisé dans les centrales solaires.



Figure 2.6 Batterie solaire Rolls 2V 3220Ah

2.4.5 Schéma descriptif globale de l'installation

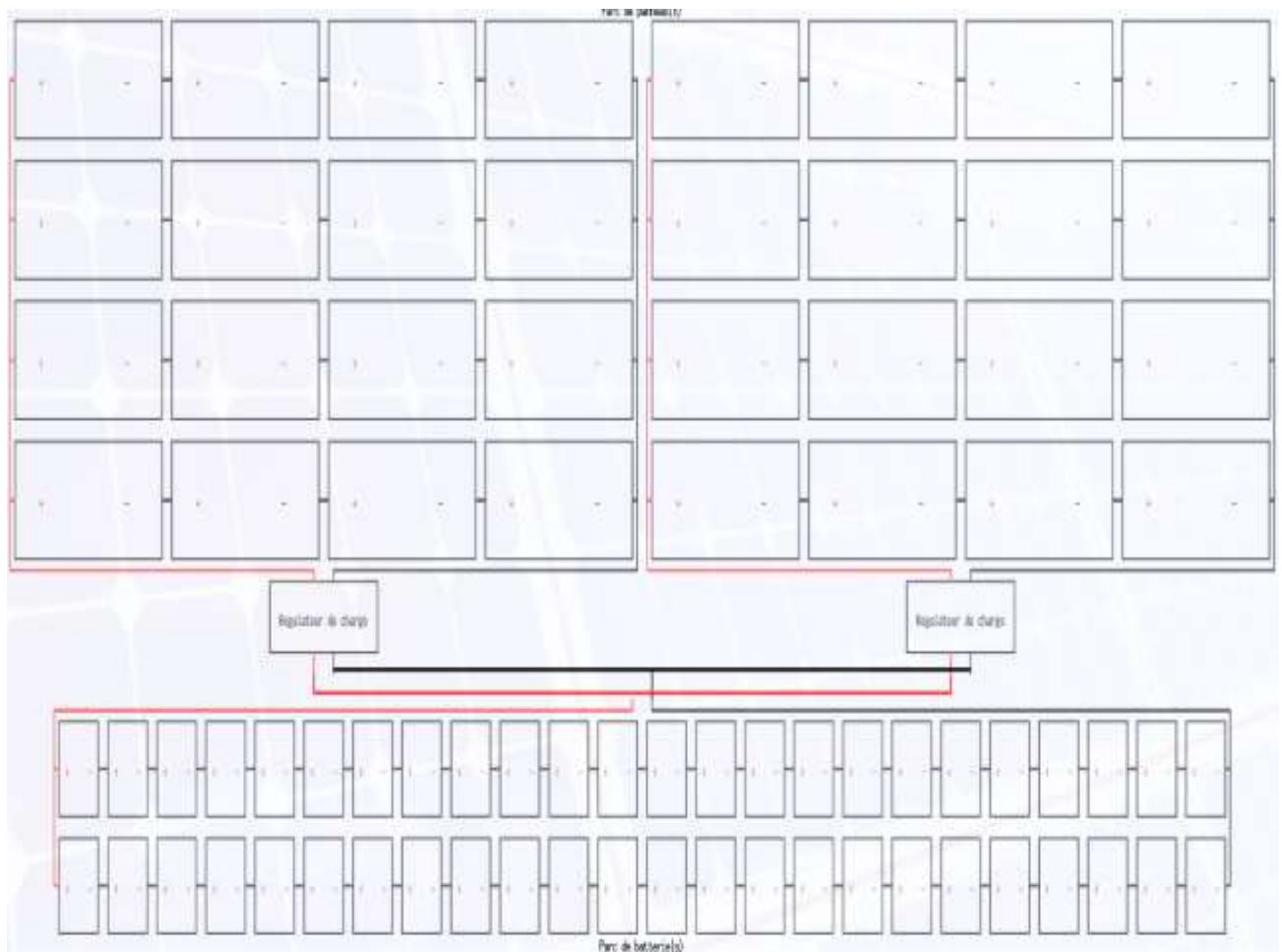


Figure 2.7 Schéma général de l'installation

2.4.6 Calcul et choix de l'onduleur

L'onduleur sert à transformer le courant continu en courant alternatif assimilable par les appareils standards du marché. Il nous faut un convertisseur capable de délivrer les 18 Kw de puissance électrique maximale dont nous avons besoin.

On a opté pour quatre convertisseurs de type 48/5000 [13].

Puissance CA du convertisseur à 25 °C : 5000 W
Plage de tension d'entrée (V CC) : 9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V
Courant de charge batterie : 200/120/70 A
Commutateur de transfert : 2 x 100 A
Tension de batterie : 48 V
Dimensions : 444 x 328 x 240 mm
Poids : 30 kg



Figure 2.8 Onduleur Quattro 48/5000

2.5 Inclinaison et orientation des panneaux solaire

Pour optimiser au mieux la production d'énergie de l'installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et de l'orientation du panneau solaire.

Généralement, l'installation de panneaux photovoltaïque se fait sur la toiture d'un bâtiment, ceci pour éviter les risques liés à la sécurité des utilisateurs.

- L'inclinaison est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné à 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale. Le choix de l'angle se fait en fonction de la zone afin d'obtenir le meilleur rendement il faudra privilégier un grand angle à 50° . Au printemps le meilleur angle est à 35° , et au contraire en été l'angle optimal est à 20° .
- Pour une installation fixe située dans l'hémisphère nord du globe terrestre, il faudra privilégier l'orientation des panneaux au sud. C'est l'orientation qui reçoit le plus d'énergie solaire au cours d'une journée, et ce toute l'année durant [16].

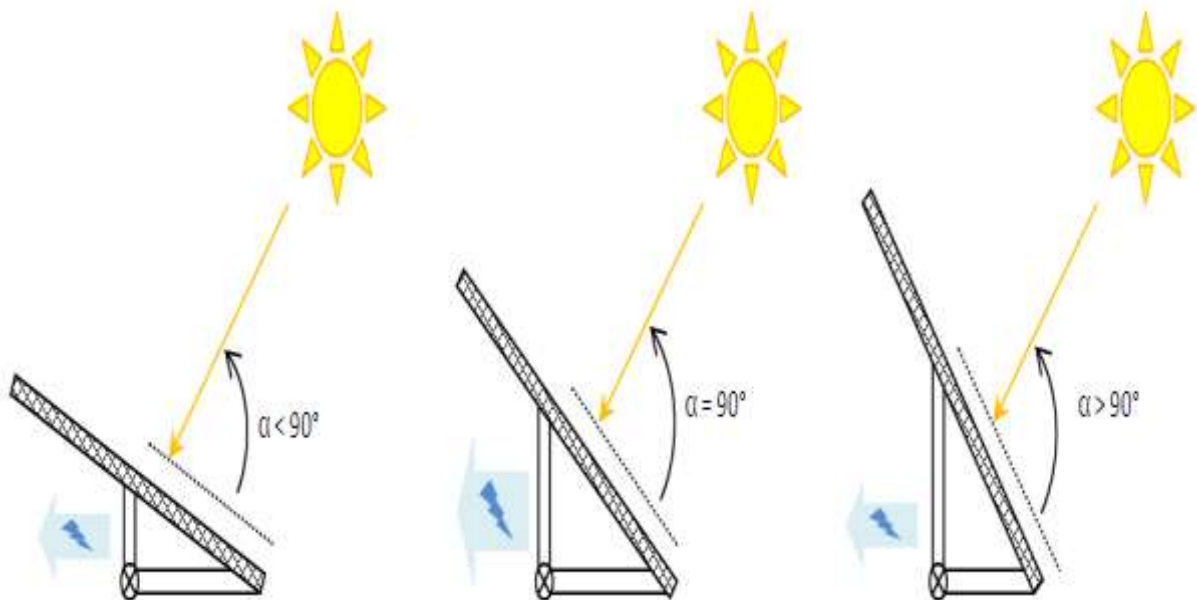


Figure 2.9 Angle d'inclinaison des panneaux solaires par rapport au rayon solaire

La Figure 2.9 montre l'angle optimum que doit faire la surface des panneaux avec le rayon solaire, cet angle doit être de 90° ce qui correspond à un angle de 35° par rapport au sol.

En pratique, l'angle optimum est obtenu grâce à des équerres de fixation avec angle ajustable *Figure 2.10*.



Figure 2.10 Equerre de fixation avec angle ajustable

L'orientation d'une paroi par rapport au rayonnement solaire influe sur l'énergie solaire incidente, le *Figure 2.11* donne les pourcentages de rayonnement intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence elle nous indique l'angle à choisir pour nos panneaux solaires en fonction de leur orientation, ainsi nous pouvons conclure que l'angle optimum pour une orientation plein sud est de 30° par rapport au sol [17].

INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°
EST	93%	90%	78%	55%
SUD - EST	93%	96%	88%	66%
SUD	93%	100%	91%	68%
SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%
OUEST	93%	90%	78%	55%

Figure 2.11 Inclinaison des Panneaux Solaires en fonction de l'Orientation

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le cahier des charges de l'installation à réaliser avec les différents composants essentiels de cette dernière, nous avons ensuite effectué un dimensionnement de notre installation après application numérique et calculé des différents paramètres de la chaîne photovoltaïque, ceci nous a permis de choisir le nombre de panneaux, le choix du type de régulateur en courant continu, le choix de l'onduleur ainsi que l'inclinaison et l'orientation des panneaux par rapport au sol.

CHAPITRE 3

ETUDE ET CARRACTARISATION SOUS MATLAB/SIMULINK DE LA CHAINE PHOTOVOLTAÏQUE

3.1 Introduction

Afin de mieux assimiler le fonctionnement d'une chaîne photovoltaïque indépendante, nous avons utilisé le logiciel Matlab/Simulink pour simuler cette chaîne composée de panneaux solaires de production locale, pour des raisons de disponibilités notre choix s'est posé sur le modèle condor polycristallin 300wc à 72cellules, nous avons aussi utilisé un convertisseur DC/DC élévateur de tension (hacheur boost) commandé par un algorithme MPPT, en plus d'un convertisseur DC/AC qui est un onduleur à 3 niveaux commandé par le réseau relié à une charge active [18].

3.2 Présentation de l'outil Matlab/Simulink

Simulink est un environnement de diagramme fonctionnel destiné à la simulation multi domaine et à l'approche de conception par modélisation. Il prend en charge la conception et la simulation au niveau système, la génération automatique de code, ainsi que le test et la vérification en continu des systèmes embarqués.

La figure 3.1 représente la bibliothèque Simulink dans lequel on trouve les différents blocs dédiés à la simulation.

Simulink propose un éditeur graphique, un ensemble personnalisable de bibliothèques de blocs et des solveurs pour la modélisation et la simulation de systèmes dynamiques. Il est intégré à MATLAB, ce qui permet d'incorporer les algorithmes MATLAB dans les modèles et d'exporter le résultat des simulations vers MATLAB pour compléter les analyses [19].

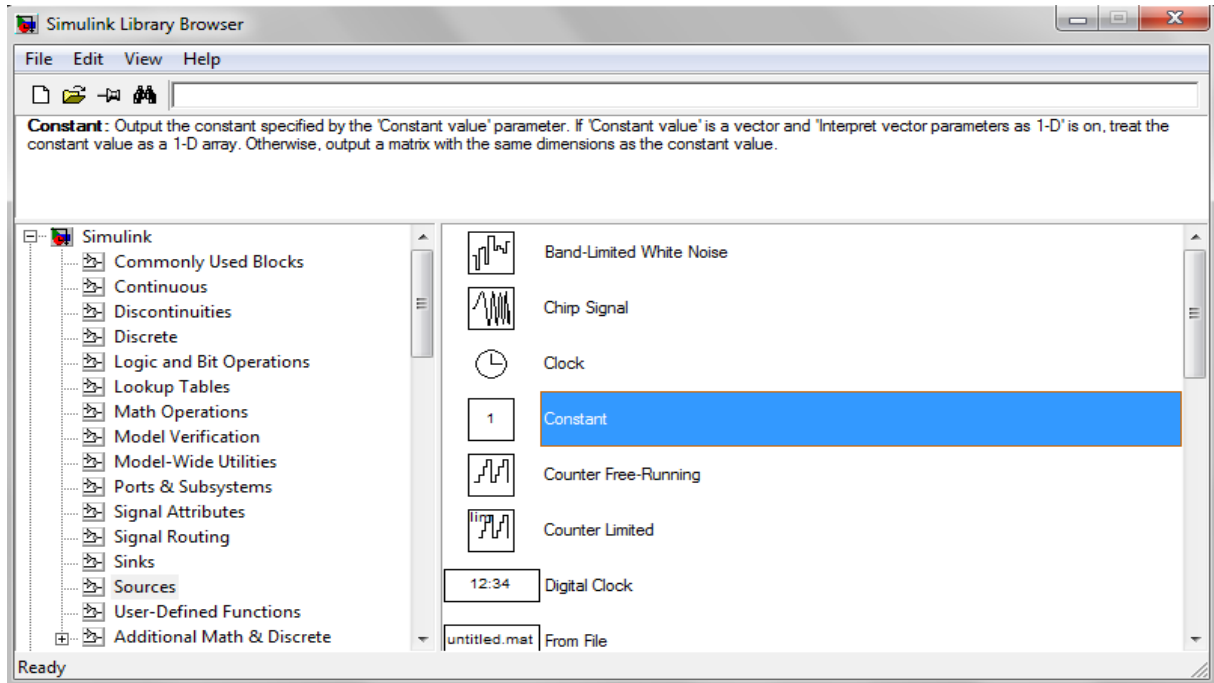


Figure 3.1 Bibliothèque Matlab/Simulink

3.3 Présentation des Panneaux solaire Condor

Condor, comme plusieurs entreprises algériennes du domaine de l'électronique s'est lancé durant ces dernières années dans le marché des énergies renouvelables, et est devenu l'une des plus grandes firmes sur le marché, contenu de sa large gamme de produit et leurs rapports qualité-prix. Le modèle que nous allons utiliser dans notre travail sera le 300Wc 72 cellules représenté dans la figure 3.2. Pour se faire nous avons modélisé ce panneau qui est à la base inexistant dans la bibliothèque MatLab en programmant ses différentes caractéristiques techniques Figure 3.3.

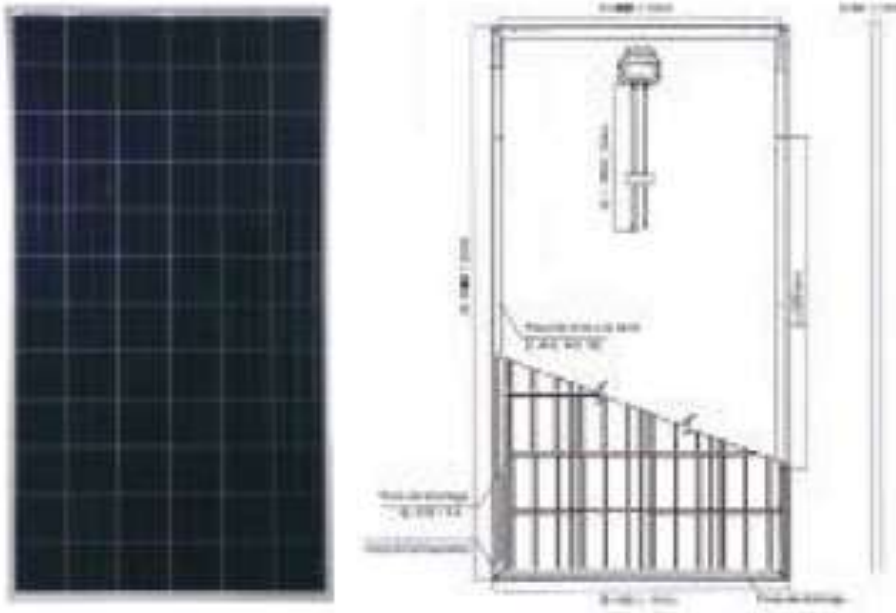


Figure 3.2 Panneau condor polycristallin 300wc

3.3.1 Caractéristiques électriques du Panneau Condor polycristallin 300wc

Type de module	Unité	CEM280P-72	CEM285P-72	CEM300-72
Puissance nominale	Wc	280	285	300
Tension en circuit ouvert (Vco)	V	43.30	44.67	45.60
Courant de court Circuit Isc	A	8.24	8.55	8.88
Tension mpp Vmpp	V	35.61	35.81	36.80
Courant mpp Impp	A	7.93	7.95	8.15
Tension maximale du système VDC	V	1000		
Charge maximale De fusibles (A)	A	15		
Facteur de température (cellule):				
Température nominale de fonctionnement		NOCT	45±2°C	
Coefficient de température de puissance		%/°C	-0.39	
Coefficient de température de courant		%/°C	+0.06	
Coefficient de température de voltage		%/°C	-0.33	

Figure 3.3 Caractéristiques électriques

3.3.2 Caractéristiques mécaniques du Panneau Condor polycristallin 300wc

Type de cellule	Cellule polycristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	72 cellules (6x12)
Dimensions de la cellule	156x156 mm
Dimensions du module	1956x992x50 mm
Poids du module	23,5 Kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boite de jonction et connecteur	IP65;3 Diodes By-passe et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	- 40°C à 85°C

Figure 3.4 Caractéristiques mécaniques

3.3.3 Caractéristiques fondamentales par simulation

Avec un parc photovoltaïque composé de 32 panneaux couplés en mixte quatre en parallèles quatre en séries nous avons obtenu les caractéristiques suivantes

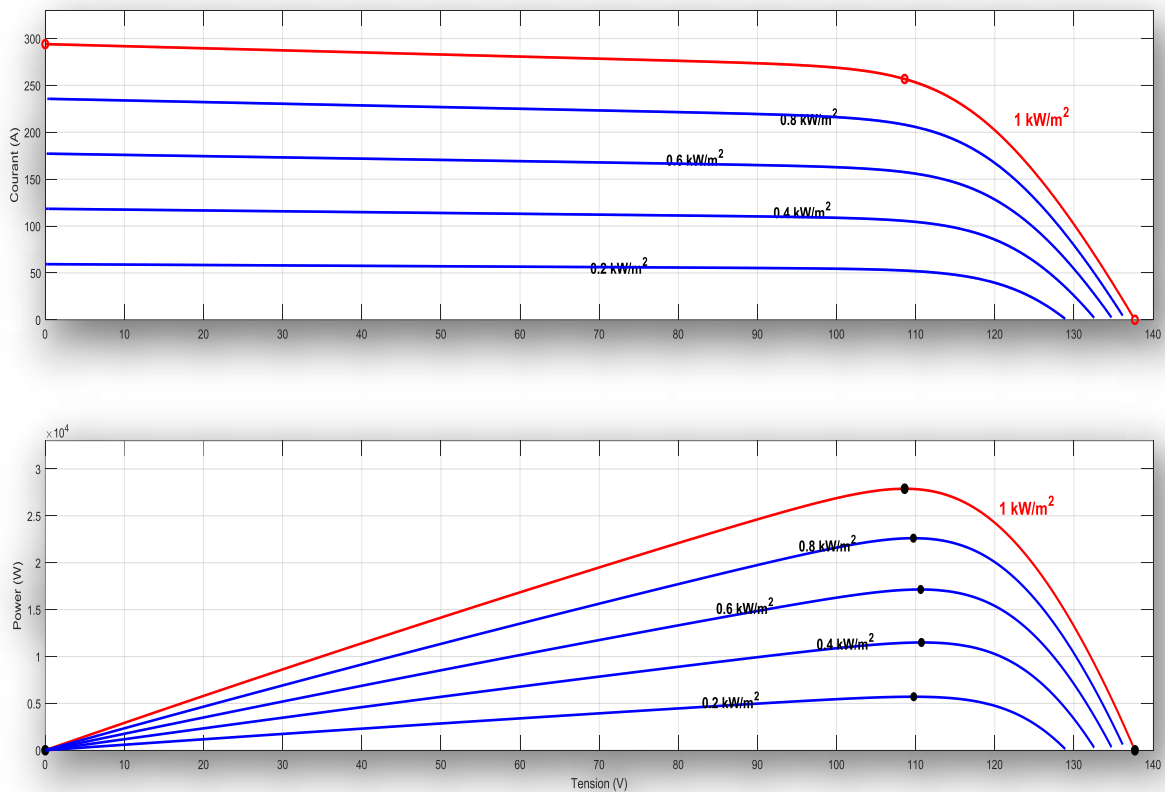


Figure 3.5 Caractéristiques courants tensions /puissances tensions

La figure 3.5 représente la variation du courant en fonction de la tension du parc photovoltaïque choisis et ceci pour trois cas de figure :

- 200w/m² ;
- 400w/m² ;
- 600w/m² ;
- 800w/m² ;
- 1000w/m² (cas standard).

Remarque : Ces essais sont faits pour une température standard de 25°C.

On note aussi que le maximal power point (MPP) est précisé pour les chaque cas.

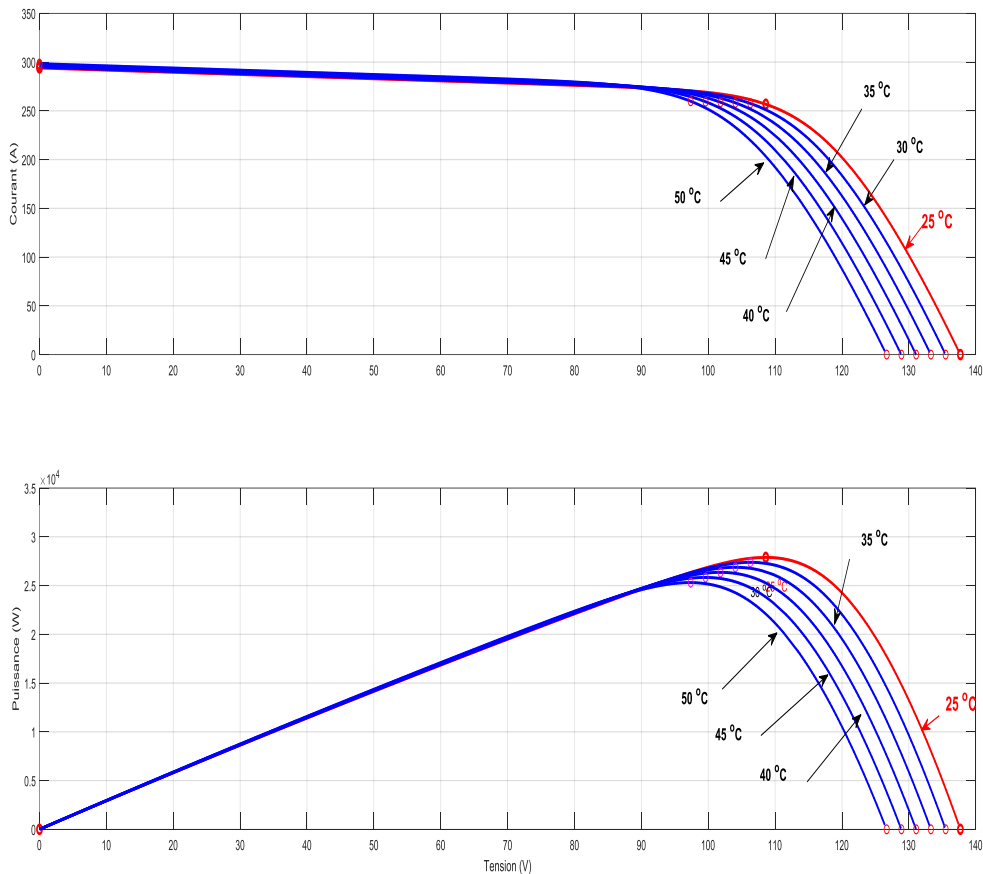


Figure 3.6 Caractéristiques courants tensions /puissances tensions

La figure 3.6 Représente la variation de la puissance en fonction de la tension du parc photovoltaïque cette caractéristique et la plus importante pour le choix du modèle de panneaux.

Les résultats sont faits pour E =standard et une température variable :

- Le cas standard 25°C ;
- 35°C ;
- 40°C ;
- 45°C ;
- 50°C.

Remarque : Ces essais sont faits pour des radiations de standard de 1000w/m² (cas standard), on note aussi que le maximal power point (MPP) est précisé pour chaque cas

3.4 Présentation des hacheurs

Les hacheurs sont les convertisseurs statiques du domaine de l'électronique de puissance qui permettent le transfert de l'énergie électrique d'une source continue vers une autre source continue. (Ils sont l'équivalents des transformateurs en alternatif).

Lorsque l'entrée et la sortie sont de natures dynamiques différentes, on peut les relier directement (on parle alors de hacheur à liaison directe). Lorsqu'elles sont de même nature dynamique, il faut faire appel à un élément de stockage momentané (on parle dans ce cas de hacheur à accumulation) [8].

3.4.1 Types des hacheurs

Les hacheurs se distinguent en catégorie selon que leur topologie soit isolée ou non isolée. Les topologies isolées sont très employées souvent dans les alimentations à découpage et nécessitent un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence. Concernant, les applications photovoltaïques, elles utilisent, généralement, ce type de topologie pour des raisons de sûreté.

Dans la suite de ce chapitre, les convertisseurs unidirectionnels (un seul sens de la fluence d'énergie) en courant et en tension. Cela revient également à considérer [8].

- Des sources de tension non réversibles, unidirectionnelles en courant ;
- Des sources de courant non réversibles, unidirectionnelle en tension.

On distingue quatre familles des convertisseurs statiques(ou hacheurs) :

- Hacheur série « BUCK », abaisseur ;
- Hacheur parallèle « BOOST », élévateur ;
- Hacheur série- parallèle « BUCK – BOOST », abaisseur –élévateur ;
- Hacheur à quatre quadrants.

Le tableau II.1 résume les principaux rapports de transformation du transformateur d'isolement (K) et le rapport cyclique (α) pour les différentes structures des hacheurs avec et sans isolement galvanique. [9]

Convertisseur	Rapport de transformation en fonction de (D)	Isolement galvanique
<i>Buk</i>	α	Non
<i>Boost</i>	$\frac{1}{1 - \alpha}$	Non
<i>Buck – Boost</i>	$\frac{-\alpha}{1 - \alpha}$	Non
<i>Cuk</i>	$\frac{-\alpha}{1 - \alpha}$	Non
<i>Sepic</i>	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$	Non
<i>Flyback</i>	$K \frac{\alpha}{1 - \alpha}$	OUI

<i>Push - Pull</i>	$K\alpha$	OUI
<i>Forward</i>	$K\alpha$	OUI

Tableau 1: Rapport de transformation des principaux convertisseurs DC – DC.

3.4.2 Fonctionnement

Le transistor (IGBT) est commandé à la fermeture durant D et la diode conduit durant $(1-D)$

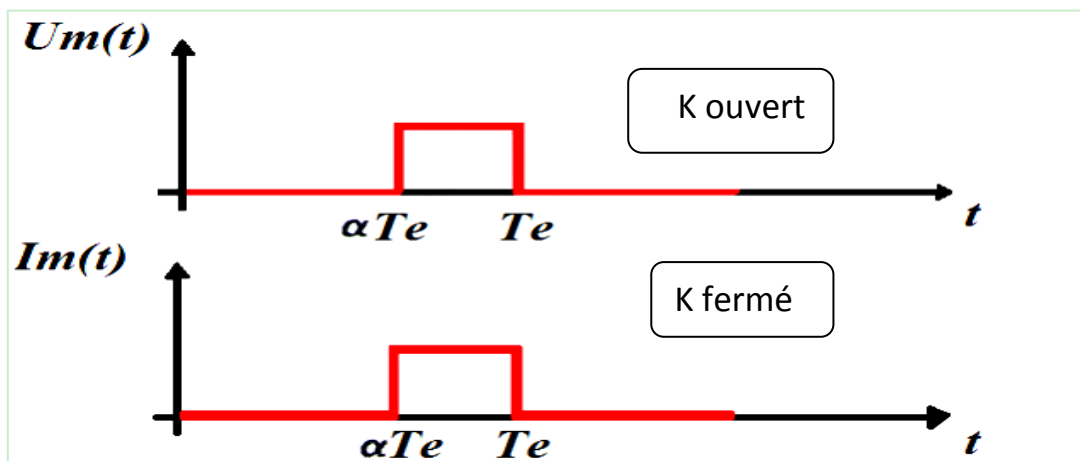


Figure 3.7 : Fonctionnement d'IGBT et diode de l'hacheur parallèle

La tension moyenne à la sortie d'un hacheur parallèle est :

$$U_m = \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} U_m(t) dt = (1-\alpha) U \quad (3.1)$$

Le hacheur parallèle ne peut fonctionner que le premier (1^{er}) quadrant du plan (I , U_m) lorsqu'on varie α .

3.4.3 Prestation de hacheur boost

Un convertisseur Boost, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur on utilise un convertisseur boost lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une

source continue. Les systèmes alimentés par PV utilisent souvent plusieurs panneaux en série afin de disposer d'un niveau de tension suffisamment élevée.

Un convertisseur boost permet d'augmenter la tension fournie par les panneaux et ainsi diminuer le nombre de panneaux nécessaires pour atteindre le niveau de tension désirée. Les véhicules hybrides ainsi que les systèmes d'éclairage (utilisant des lampes à économie d'énergie) sont deux autres exemples typiques d'utilisation des convertisseurs boost [8].

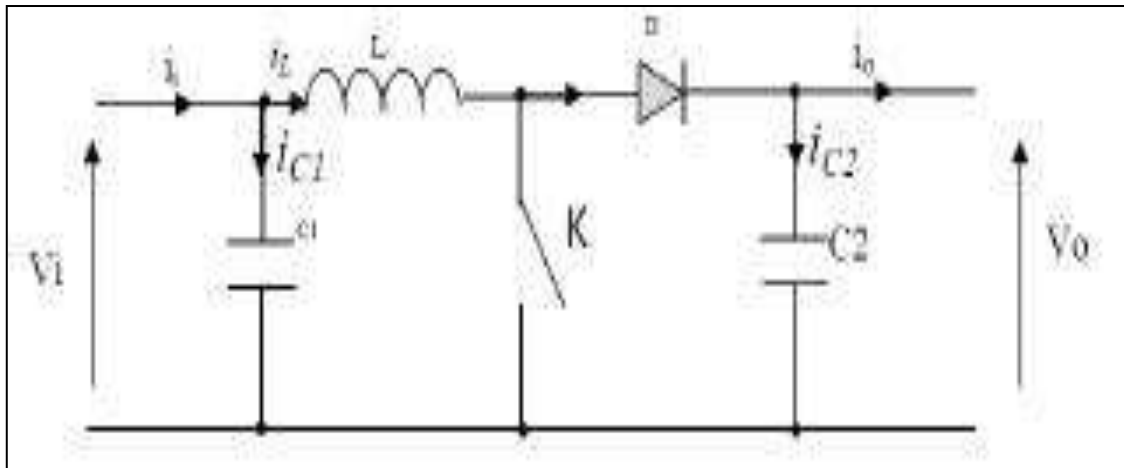


Figure 3.8 Schémas d'un convertisseur Boost

La structure du hacheur élévateur (boost) est constituée d'une seule cellule de commutation (K), il existe donc des états à ce système:

1. Etat d'accumulation: Dans cette phase le commutateur K est ouvert
2. Etat de refoulement : Dans cette phase le commutateur K est fermé (Figure 3.8)

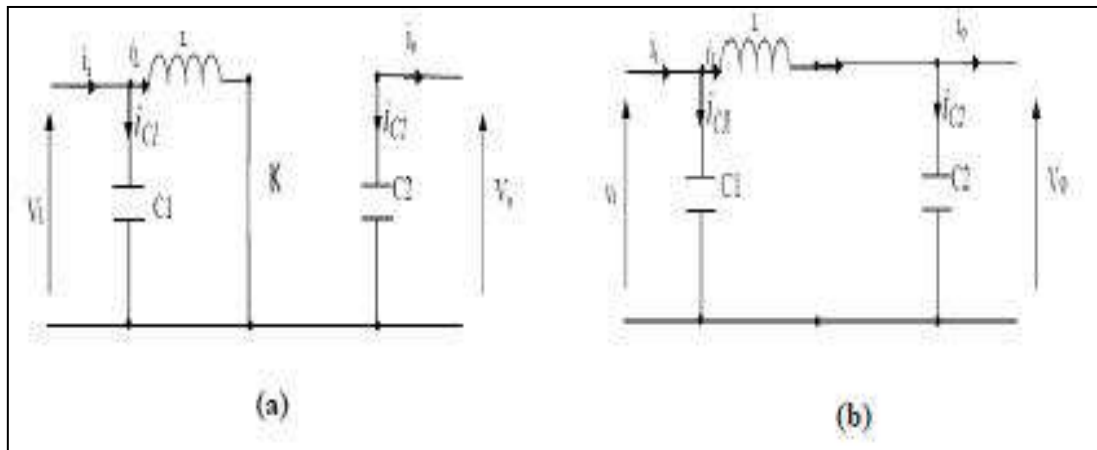


Figure 3.9 Schémas d'un convertisseur Boost (a) k fermé ; (b) k ouvert.

Pour la validation du fonctionnement du hacheur boost, on a réalisé des essais de simulations numériques, avec les rapports cycliques $D=0.2, 0.4$ et 0.8 pour une tension d'entrée de $200V$ avec une fréquence de commutation de $10KHz$.

La figure 3.10 montre la tension de sortie du hacheur avec celle déduite théoriquement, on remarque que la tension de sortie mesurée prend la valeur attendue.

La figure 3.11 montre l'état du rapport cyclique et le signal de sortie MLI (PWM), les zooms sont effectués pour valider les périodes de commutation, voir les figure 3.12 jusqu'à 3.16.

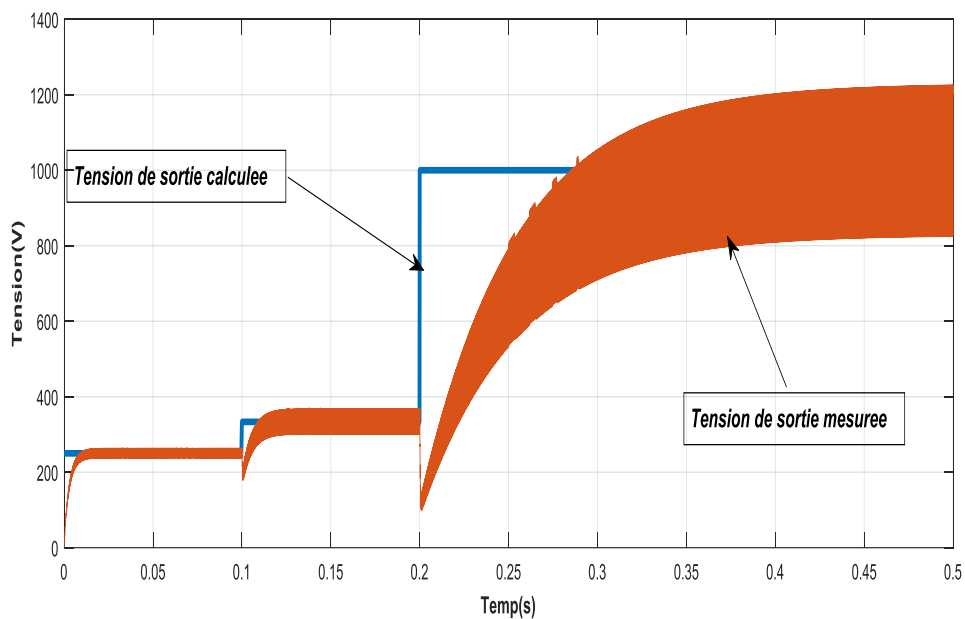


Figure 3.10 U_s estimée et U_s calculée du Hacheur boost

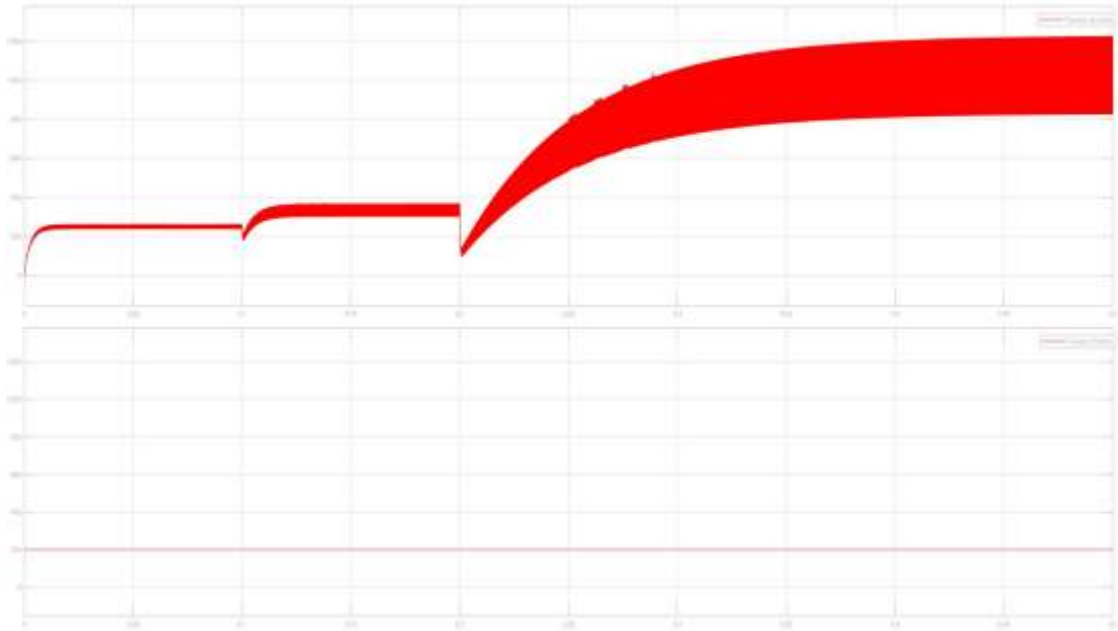


Figure 3.11 Tension de sortie et tension d'entrée du hacheur



Figure 3.12 Pulsation PWM et rapport cyclique

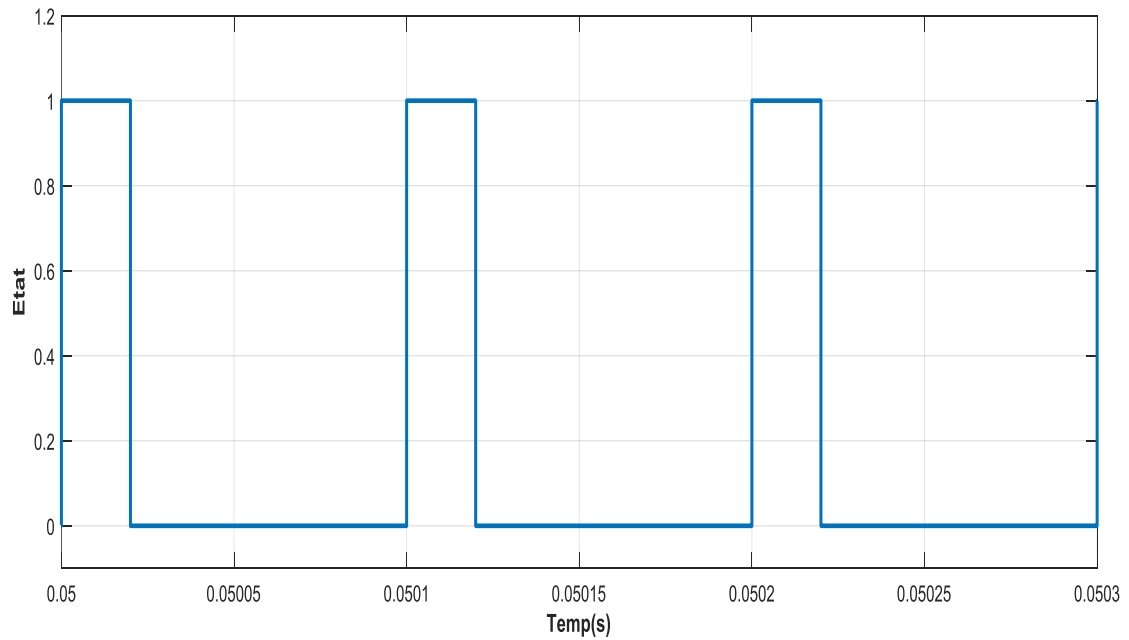


Figure 3.13 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.2

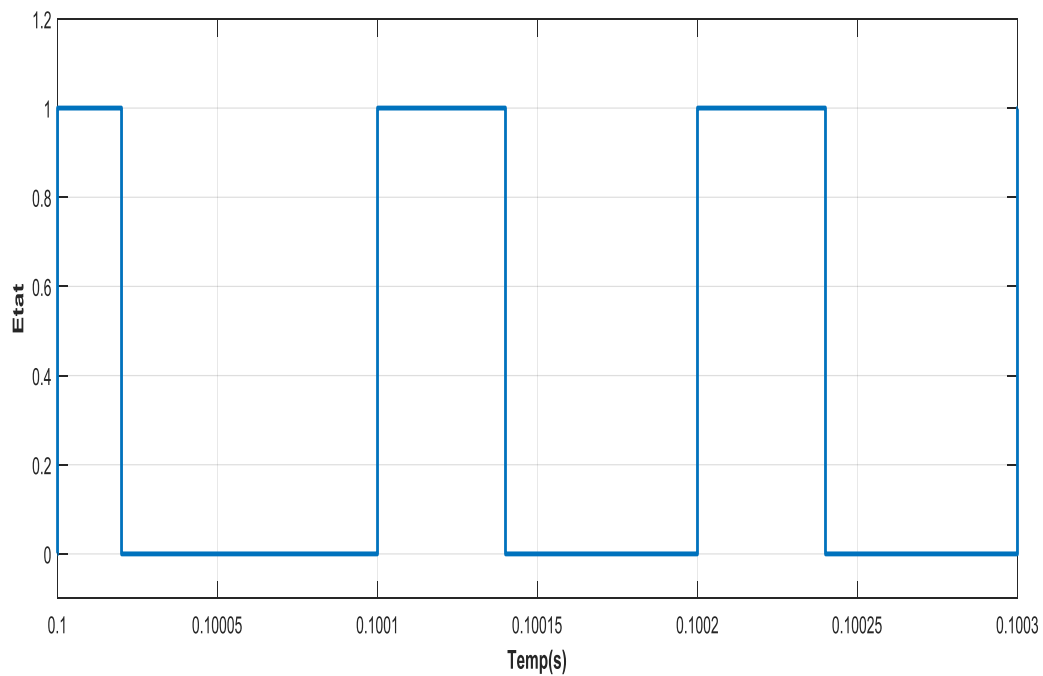


Figure 3.14 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.4

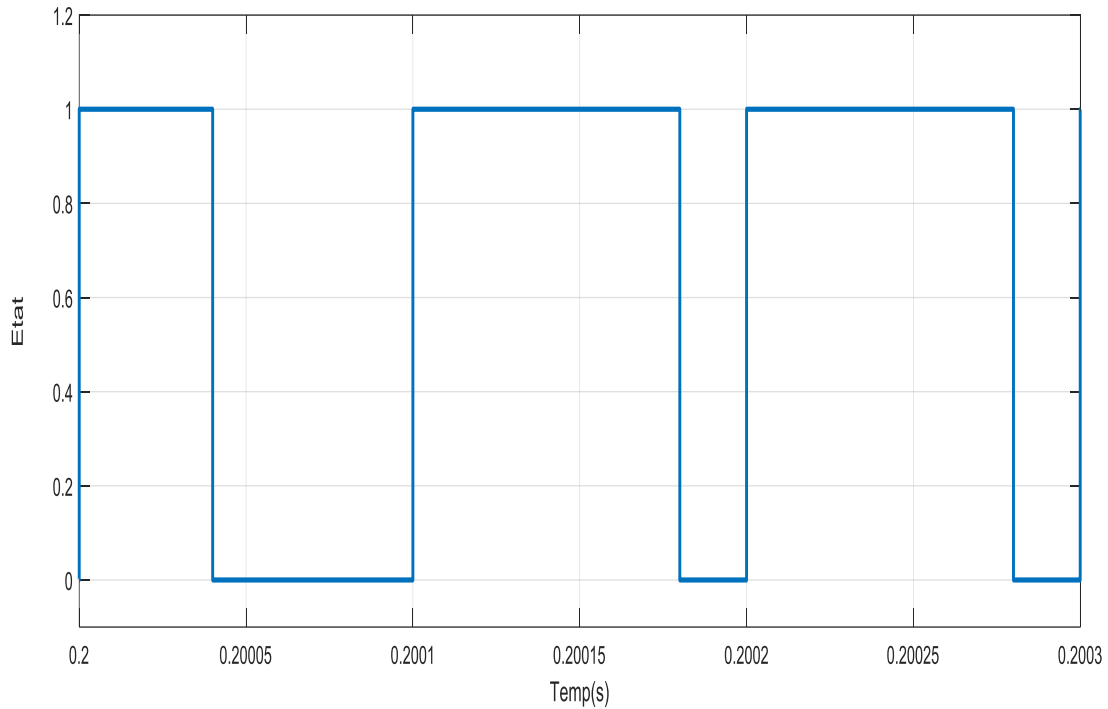


Figure 3.15 Pulsation pour un rapport cyclique de 0.8

3.5 Commande incrémental de la conductance

Cette méthode est également très utilisée. Cet algorithme est basé sur le calcul de la dérivée de la puissance de sortie du panneau par rapport à la tension. Cette dérivée est nulle au point de puissance maximale, positive à gauche et négative droite du point MPPT.

$$\begin{cases} P = V * I \\ \frac{dP}{dV} = 0 \dots\dots\dots P = P_{Max} \\ \frac{dP}{dV} < 0 \dots\dots\dots P < P_{Max} \\ \frac{dP}{dV} > 0 \dots\dots\dots P > P_{Max} \end{cases} \tag{3.2}$$

La dérivée partielle $\frac{dP}{dV}$ est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \approx I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \tag{3.3}$$

L'équation (3.1) peut être écrite comme suit :

$$\begin{cases} \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \dots\dots\dots P = P_{Max} \\ \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \dots\dots\dots P < P_{Max} \\ \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \dots\dots\dots P > P_{Max} \end{cases} \quad (3.3)$$

Donc, pour atteindre le point de puissance maximale, on compare la conductance instantanée ($g = \frac{I}{V}$) à l'incrément de la conductance ($\Delta g = \frac{\Delta I}{\Delta V}$).

La taille de l'incrément détermine la rapidité de la poursuite du MPPT. Une poursuite rapide peut être obtenue avec un incrément plus grand, mais le système ne pourrait pas fonctionner exactement au MPPT et oscille autour de celui-ci. Il y a donc, comme pour la méthode P&O, un compromis entre rapidité et précision.

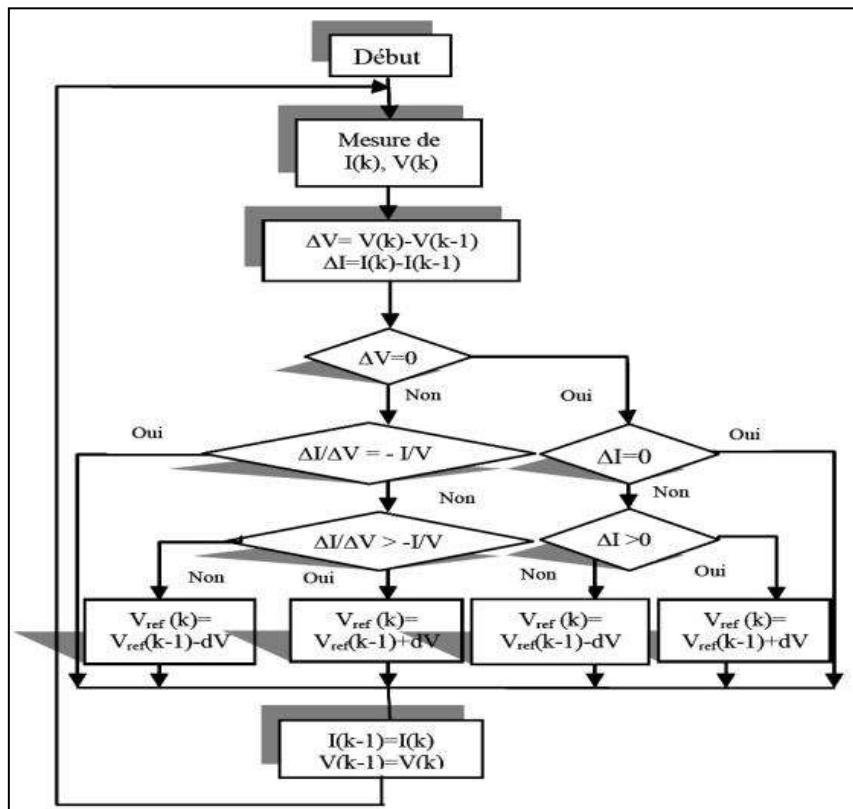


Figure 3.16 algorithme de la commande incrémental de la conductance

En conséquence, on a tester cette technique sous différentes conditions de fonctionnements de l'irradiation mais en gardant une température constante

On a obtenu le résultat de la figure 3.17, effectivement la commande MPPT marche, elle nous donne la puissance maximal peu importe les conditions ces résultat son conforme au résultat de la figure 3.5

Radiation (W/m ²)	Puissance fournit par Le PV (w)
1000	28.000
800	23.000
600	17.500

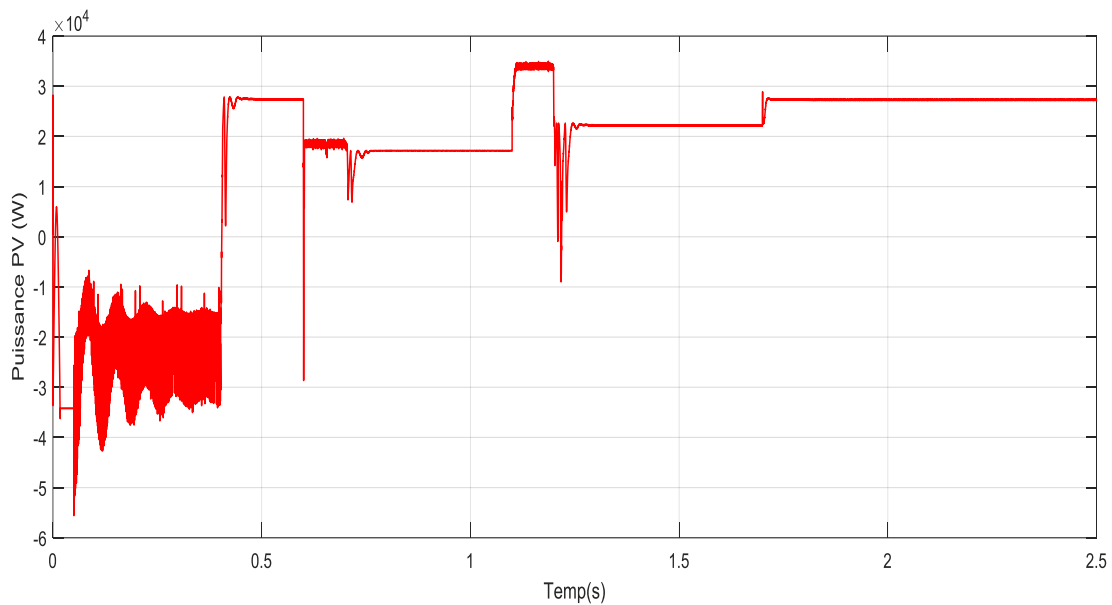


Figure 3.17 Puissance fournit par le PV pour différentes radiations

3.6 Onduleurs

Les onduleurs de tension constituent une fonction primaire de l'électronique de puissance. Ils sont présents dans des domaines d'application les plus divers, dont le plus connu est celui de la variation de vitesse des machines à courant

alternatif. La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part, sur le développement de composants à semi conducteurs entièrement commandables, puissants, robustes et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi-généralisée des techniques de modulation de largeurs d'impulsions [19].

L'onduleur de tension à deux niveaux (classique) est constitué d'un onduleur triphasé à six interrupteurs idéaux et six diodes montées en antiparallèle qui permettent d'assurer la réversibilité du courant dans chaque bras du convertisseur. La source continue associée à un onduleur de tension impose la continuité de la tension E . La structure d'un onduleur de tension à deux niveaux [8] figure 3.18.

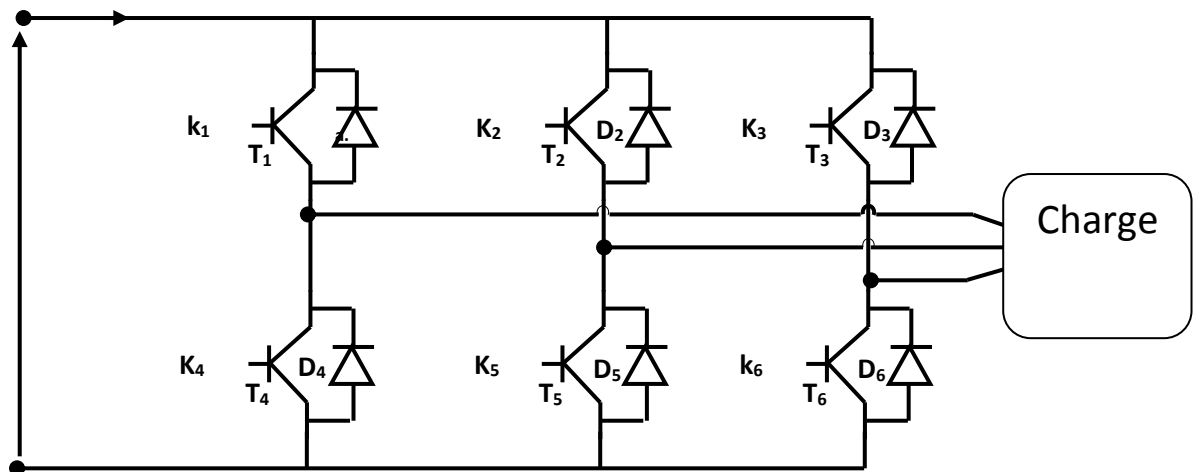


Fig.3.18 Onduleur de tension à deux niveaux

3.6.1 Modulation sinusoïdale classique à une seule porteuse

Les signaux de commande des interrupteurs de l'onduleur à deux niveaux sont obtenus à partir des intersections des trois signaux de références sinusoïdaux déphasés entre eux de 120° avec un signal triangulaire [17].

L'algorithme de commande en modulation de largeur d'impulsion pour l'onduleur à deux niveaux est donné par les expressions suivantes :

$$\begin{cases} V_{ref} \geq U_{port} \Rightarrow V_{ao} = +E \\ V_{ref} < U_{port} \Rightarrow V_{ao} = -E \end{cases} \quad (3.5)$$

Où V_{ref} : tension de référence ;

U_{port} : signal de la porteuse ;

E : tension appliquée à l'entrée de l'onduleur ;

V_{ao} : tension entre le point A et le point milieu.

3.7 Schéma et simulation

3.7.1 Schéma général du programme Matlab

Nous avons développé le programme du hacheur afin d'étudier l'évolution du système photovoltaïque dans les paramètres métrologique standard Irradiation (E) et température (T) et d autre cas de variation que sont très probable car ces deux paramètres clés qui sont des paramètres extérieurs non stable et aléatoire.

3.7.2 Résultat de la simulation pour des paramètres standard

Pour les paramètres standards 1000w/m^2 et 25°c .

Les figure 3.19 et 3.20 montrent respectivement la tension d'entré et celle de sortie du hacheur en effet celle de la sortie est plus importante donc il y'a augmentation.

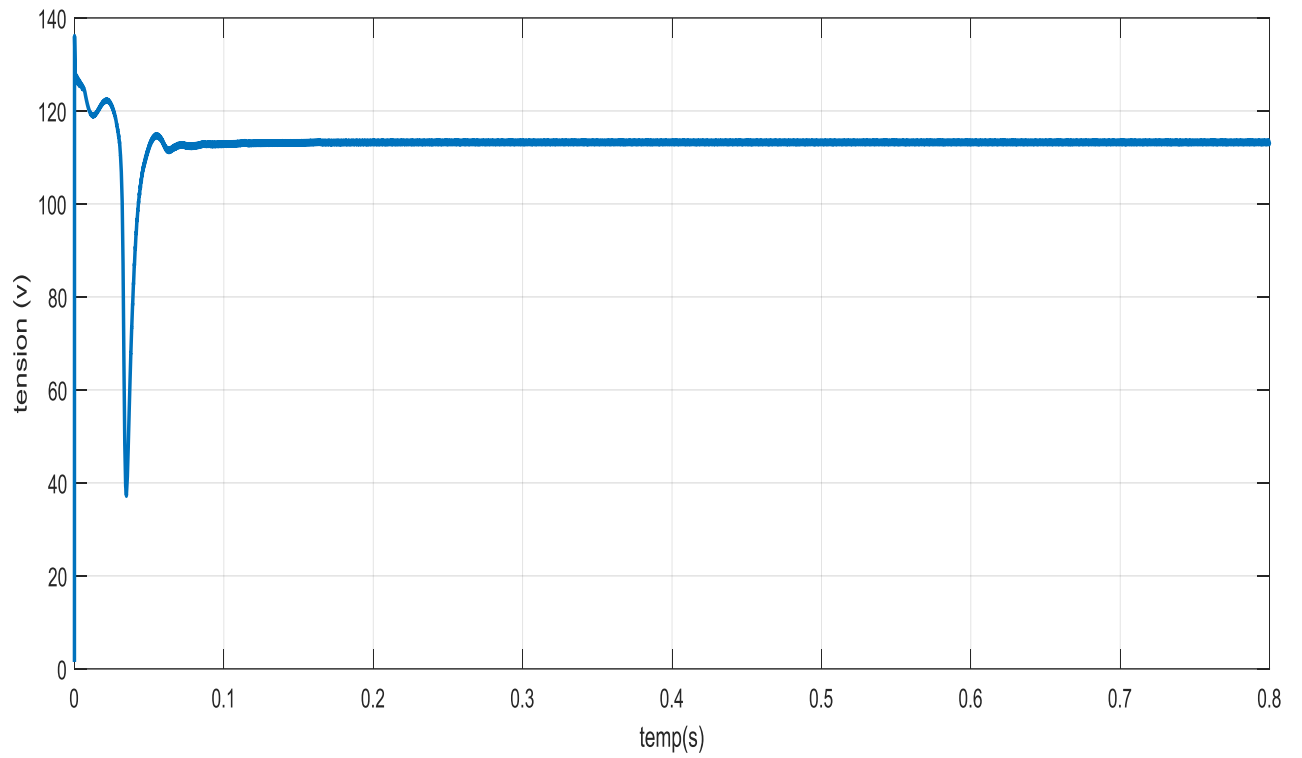


Figure 3.19 Tension d'entrée du hacheur

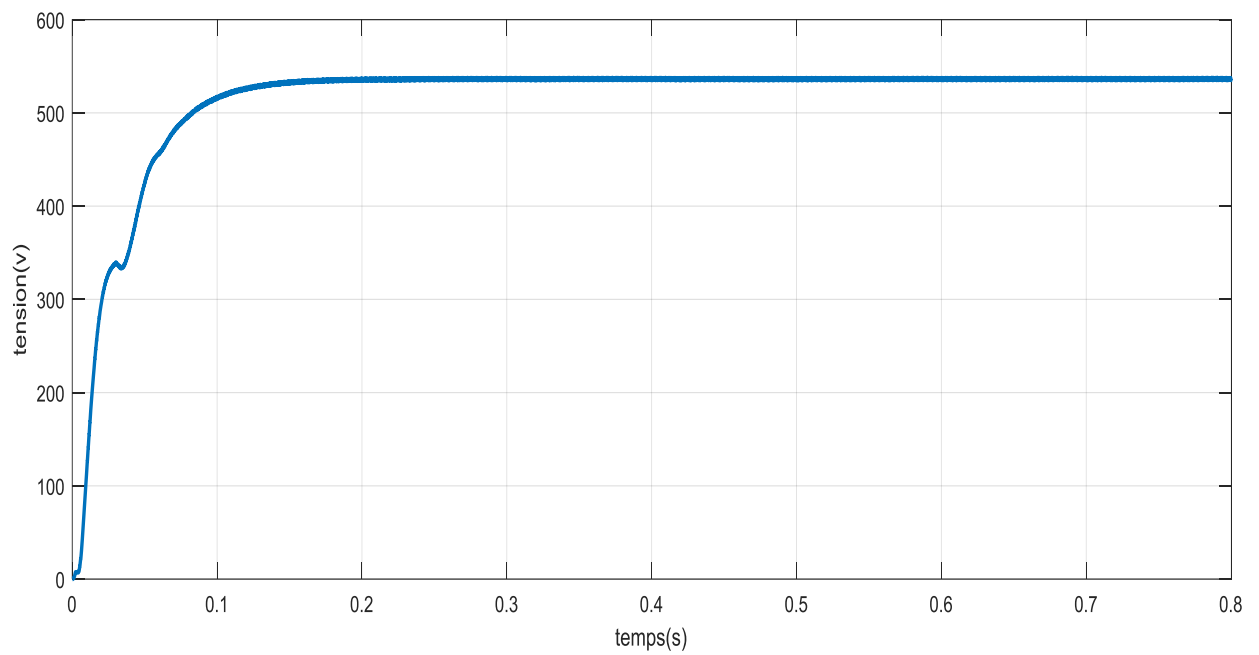


Figure 3.20 Tension de sortie du hacheur

3.7.3 Résultat de la simulation pour des paramètres modifiés

Dans ce cas, on a modifié les paramètres E et T selon la figure 3.21 et on a obtenu les résultats des figures 3.22 et 3.23.

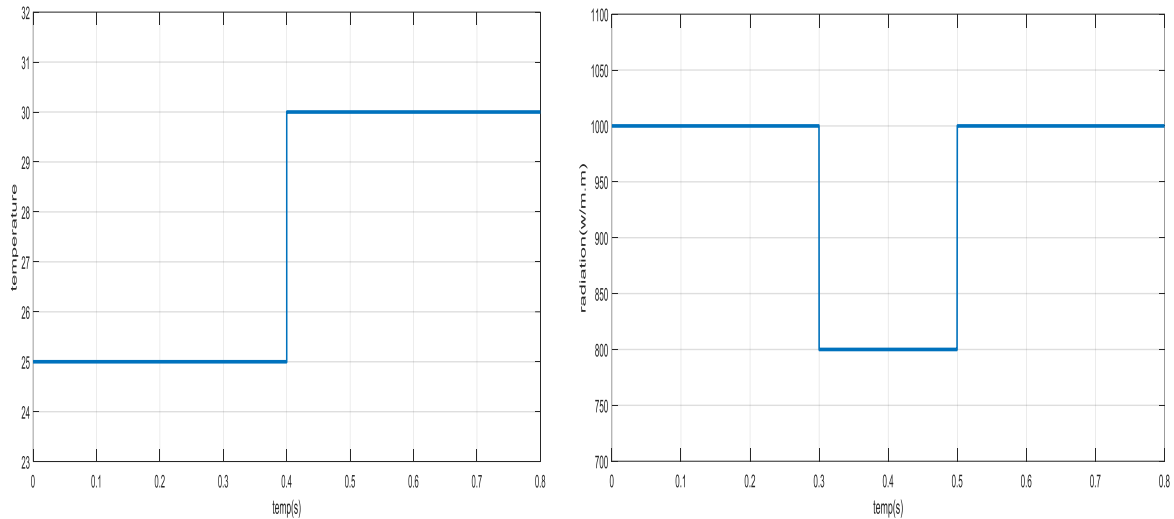


Figure 3.21 Irradiation et température variables

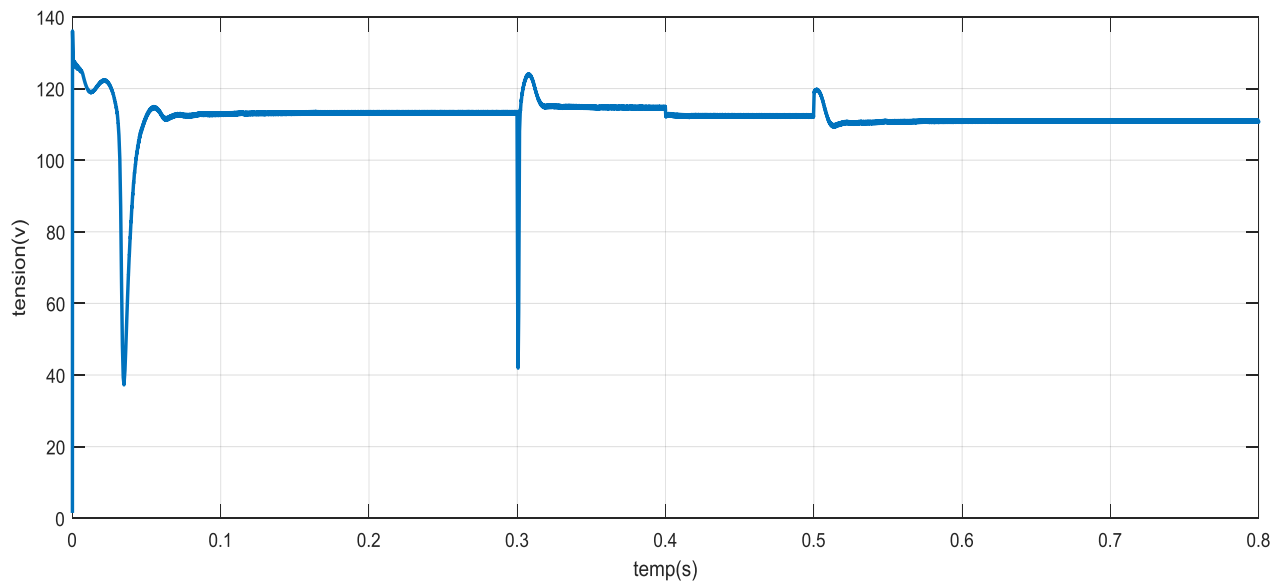


Figure 3.22 Tension d'entrée du hacheur

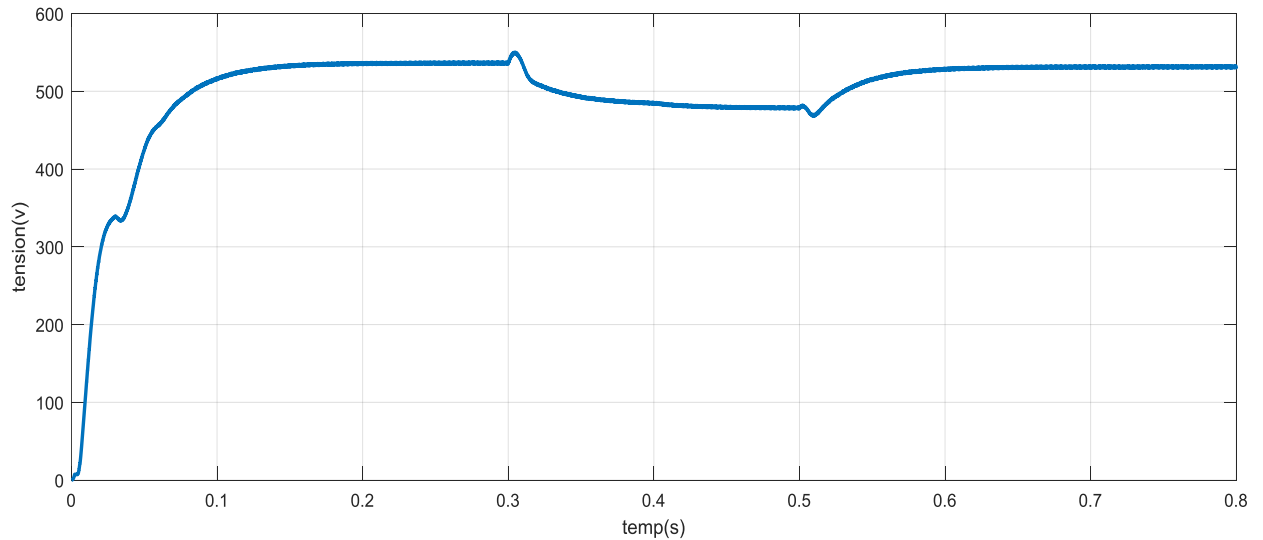


Figure 3.23 Sortie du hacheur

3.8 Conclusion

Dans cette partie du travail on a parlé des composants essentiels d'une chaîne photovoltaïque, commençant par des panneaux de production locale type condor on a étudié ses caractéristiques pour les conditions standards et d'autres conditions ainsi que la validation du fonctionnement du MPPT, dans une autre partie nous avons présenté les hacheurs avec l'étudier et la réalisation par simulation d'un hacheur boost, ainsi que le comportement d'un hacheur boost dans le cas standard et pour la variation des radiations et de la température.

CHAPITRE 4

GESTION D'UN INVERSEUR DE SOURCE AUTOMATIQUE

4.1 Introduction

Ce chapitre consiste à la présentation des détails sur la proposition de l'inverseur de sources à fonctionnement automatique pour basculer la charge du photovoltaïque au réseau électrique. Ceci pour un site industriel composé, principalement, de quatre (4) ateliers. La charge globale installée est de 18 KW partagée d'une façon équilibrée pour tous les ateliers dont on suppose qu'ils sont équipés identiquement poste à souder, tournage, fraisage, éclairage

Concernant, la logistique nous avons utilisé le logiciel Schémaplic 3.0 pour la simulation des circuits de puissance et de commande, mais pour la gestion d'énergie on utilise le logiciel MatLab.

Nous avons envisagé plusieurs cas de fonctionnement de cet inverseur automatique :

- Cas d'alimentation par la centrale photovoltaïque comme source principale et avec le réseau électrique comme source secondaire qui fonctionnement en qualité de secours ;
- Cas d'alimentation par la centrale photovoltaïque de l'atelier ou les ateliers par l'énergie pouvant être produit dans les conditions réelles de l'irradiation et de la température (alimentation partielle) or pour le reste il serait assurer par le réseau électrique.

4.2 Inverseur de secours photovoltaïque/réseau électrique

Pour ce mode de fonctionnement l'inverseur de source serra placer en tête du site industriel autrement dit le basculement se ferra au niveau de l'ensemble de

site. Pour ce mode, deux (2) possibilités sont envisageables : Inversion avec priorité au photovoltaïque et Inversion avec priorité au réseau électrique.

4.2.1 Inversion avec priorité au photovoltaïque

La figure 4.1 présente le circuit de branchement réalisant ce premier mode. Les équipements de la charge sont symbolisés et leur branchement est clairement lisible. Elle représente le schéma de puissance et de commande de l'inverseur de source général qui est doté d'un contact auxiliaire KA1 qui gère la priorité de l'alimentation, cette dernière est donnée au générateur photovoltaïque. La figure 4.2 montre la réaction du système dans le cas de présence de réseau électrique et absence de la source photovoltaïque (panne, entretien ...). Finalement, la figure 4.3 représente la réaction du système au cas d'absence du réseau électrique.

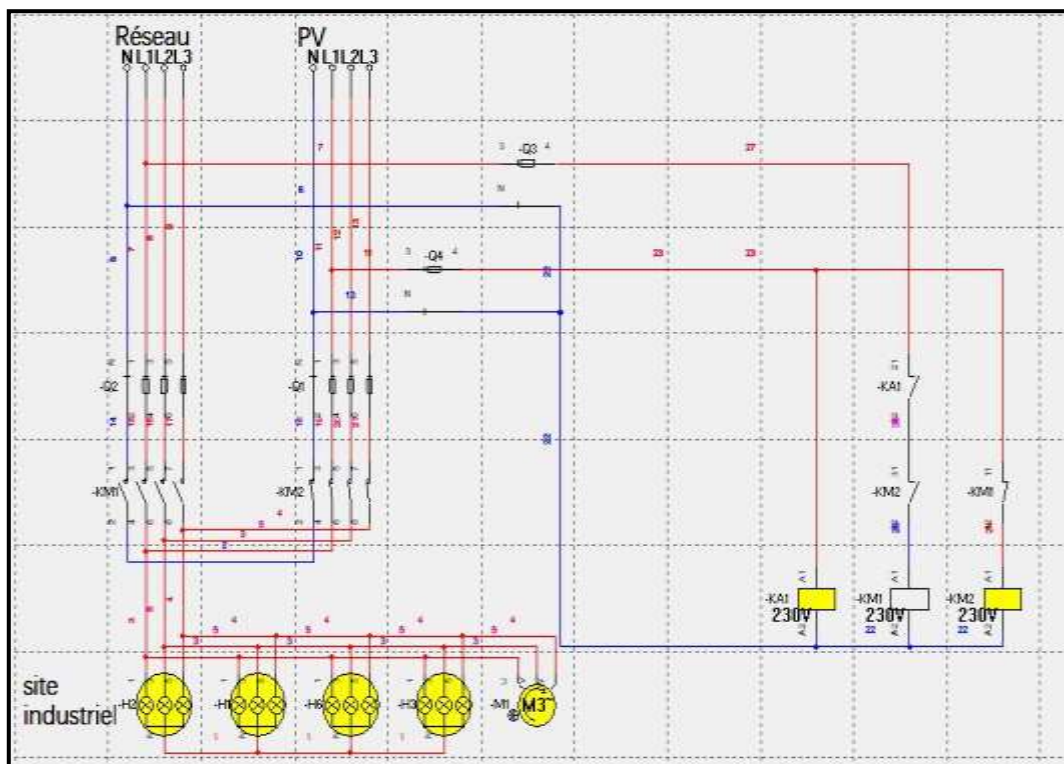


Figure 4.1 Présence PV et réseau électrique

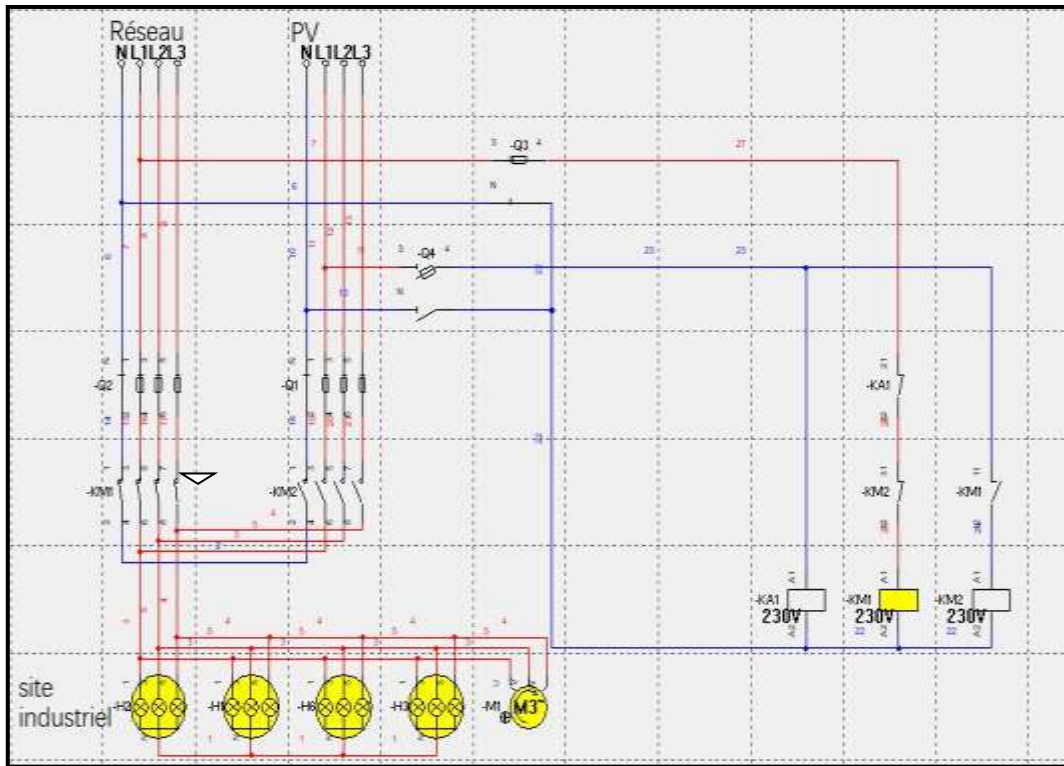


Figure 4.2 Présence de réseau et absence de PV

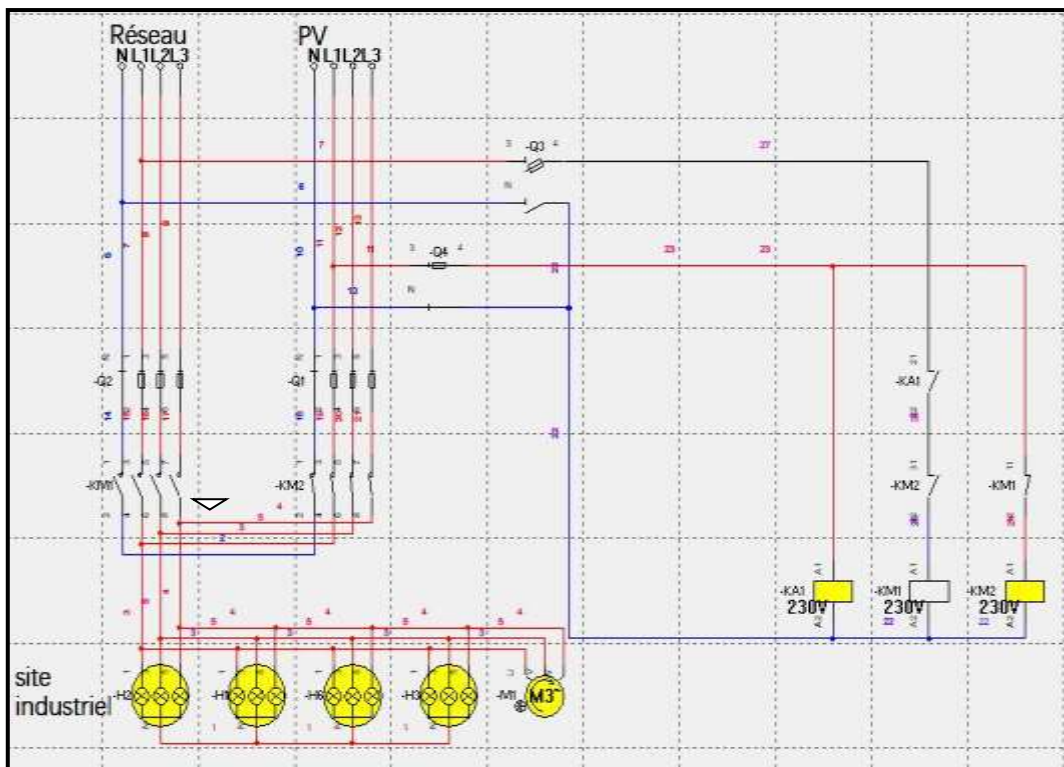


Figure 4.3 Présence de PV et absence de réseau

4.2.2 Inversion avec priorité au réseau électrique

La figure 4.4 montre qu'en cas de présence de la source photovoltaïque et du réseau électrique on favorise le réseau électrique pour alimenter le site. A cet effet, le contact de gestion KA1 est temporisé contrairement au cas précédent. Ceci pour assurer un basculement franc et éviter le basculement à chaque micro coupure du réseau électrique. Le temps de vérification peut être changé par l'utilisateur (dans notre cas il est programmé à 10s). Par ailleurs, si l'absence de réseau est constatée le générateur photovoltaïque prend la relève immédiatement comme le montre la figure 4.5. Dans le cas de rétablissement du réseau le système prend un temps de vérification (10 secondes pour notre système) si c'est un retour stable avant de basculer Figure 4.6. Après l'écoulement des dix secondes de vérification le système bascule vers le réseau électrique et retourne à son état basique de fonctionnement.

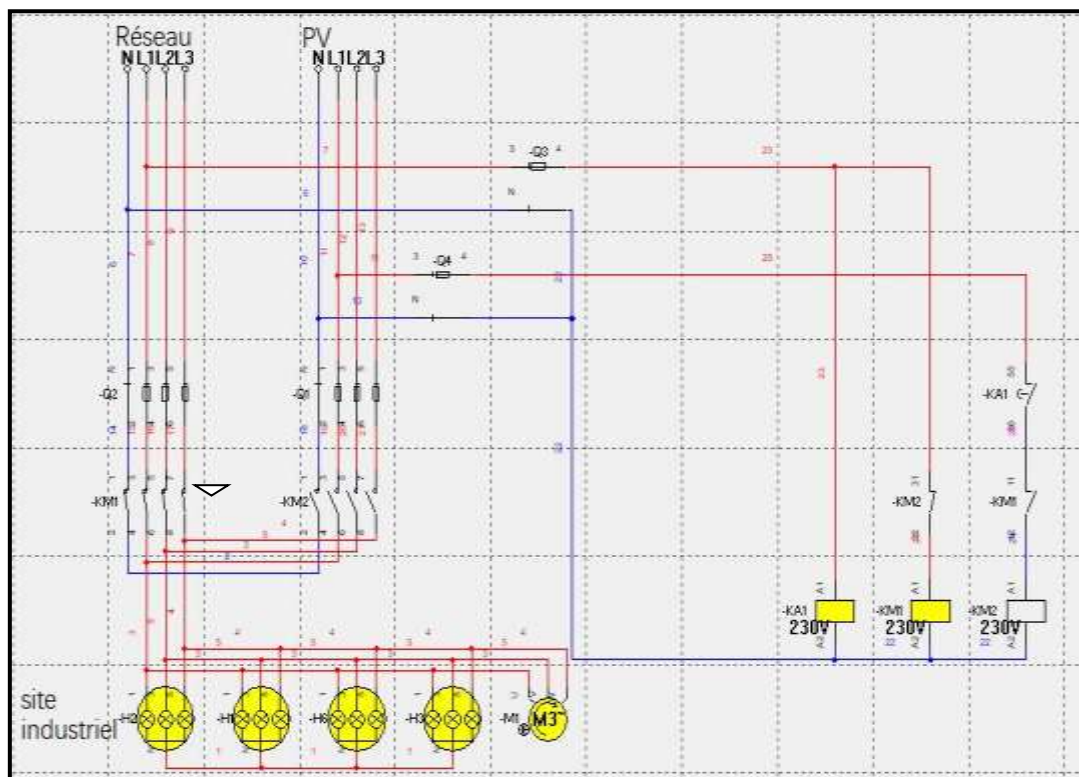


Figure 4.4 Présence réseau et PV

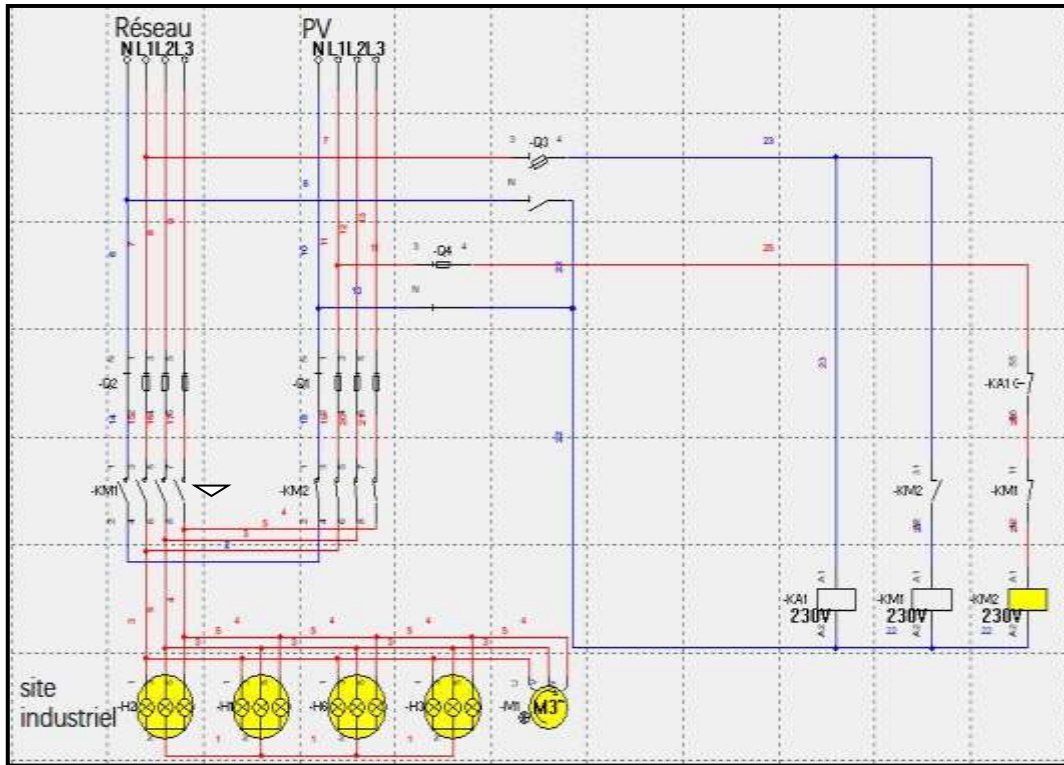


Figure 4.5 Absence de réseau présence de PV

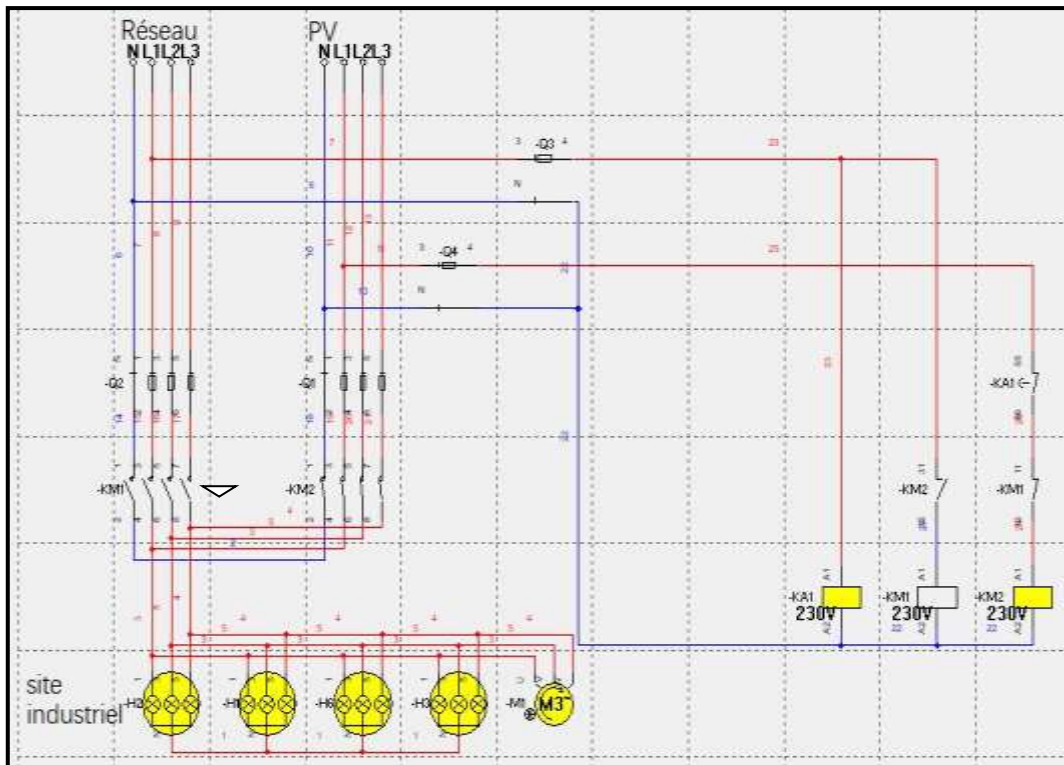


Figure 4.6 Rétablissement du réseau étape 1

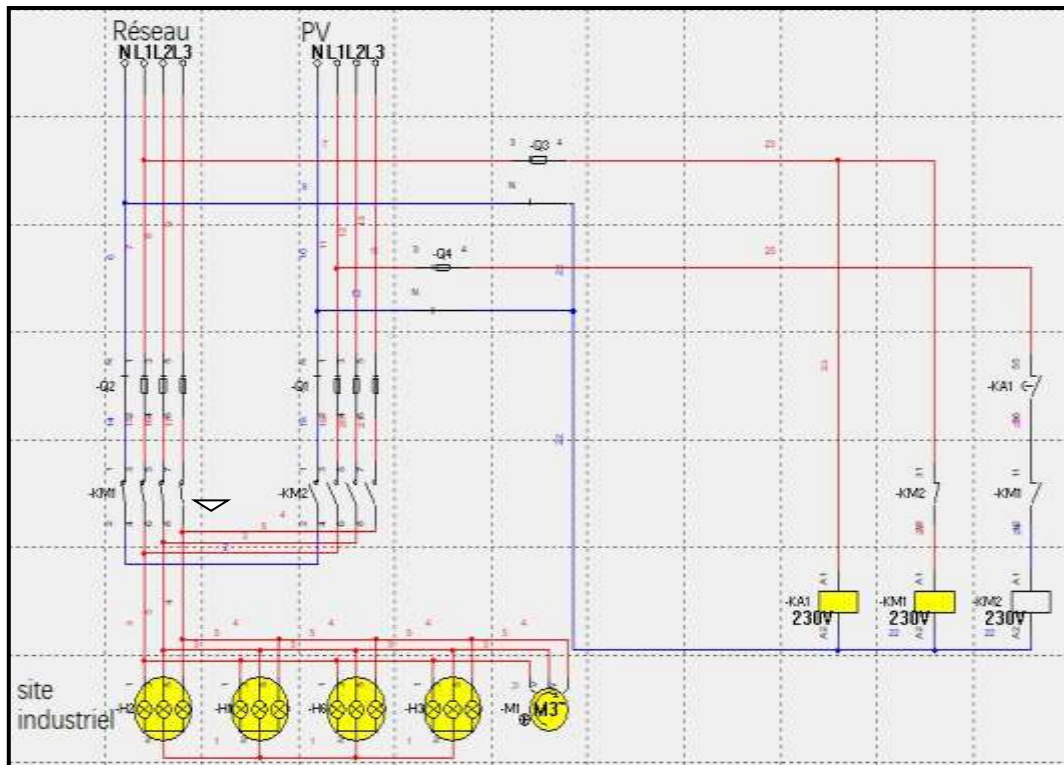


Figure 4.7 Rétablissement du réseau étape 2

4.3 Basculement par gestion d'énergie

4.3.1 Cahiers des charges

La puissance fournie par le générateur photovoltaïque dépend de deux paramètres non contrôlables l'irradiation (E) et la température (T). Ces deux (2) paramètres métrologiques dépendent à leur tour de l'emplacement géographique et malgré cela on ne peut pas avoir de valeur constante de ces deux paramètres ce qui engendre une puissance instable de la centrale solaire. Donc, une répartition de la charge du site industriel est envisageable.

4.3.2 Solutions proposés

Dans cette partie de notre mémoire nous avons développé un programme sous MatLab qui gère le basculement réseau électrique /source photovoltaïque. Notre charge globale est de 18kw pour tout le site. Cette puissance est répartie en quatre parties (ateliers) équitablement 4.5 Kw pour chaque ateliers figure 4.9. L'algorithme développé compare la valeur de la puissance fournie par la centrale et la compare à 1/4 ,2/4,3/4, 4/4 de la puissance total nécessaire pour alimenter le site.

Le programme assure de la comparaison entre les quatre valeurs de puissance prédéfinies et la puissance fournie par les panneaux qui en conséquence envoie à sa sortie l'état logique « 1 » ou « 0 ». Si la condition est valide il reçoit l'état « 1 ». Dans le cas contraire, il reçoit l'état logique « 0 ».

4.3.3 Application sur schémaplic :

La commande que nous avons développé, nous donne Cinq (5) possibilités de marche ces possibilités sont présentés dans le tableau suivant :

Numéro de possibilité / alimentation d'ateliers	Alimentation par réseau électrique	Alimentation par central photovoltaïque
01	00	04
02	01	03
03	02	02
04	03	01
05	04	00

Tableaux des combinaisons possibles

Pour valider le fonctionnement de l'algorithme on analyse les courants au niveau du réseau électrique et du générateur photovoltaïque et ce pour différentes valeur de la puissance du générateur photovoltaïque figure 4.8 Et figure 4.9.

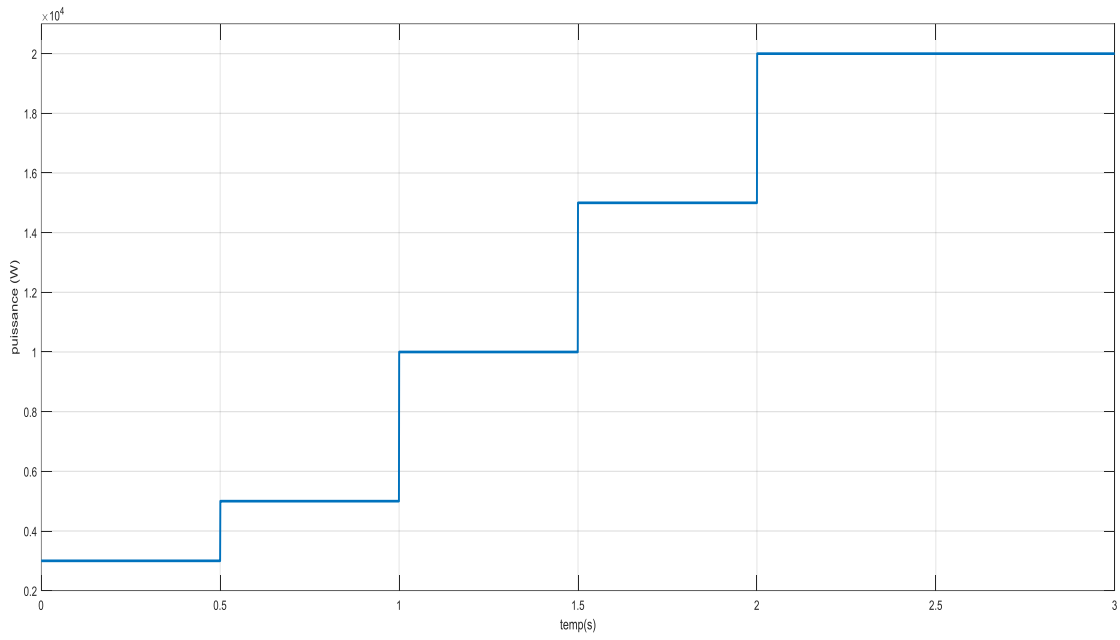


Figure 4.8 Puissance fournit par le générateur photovoltaïque

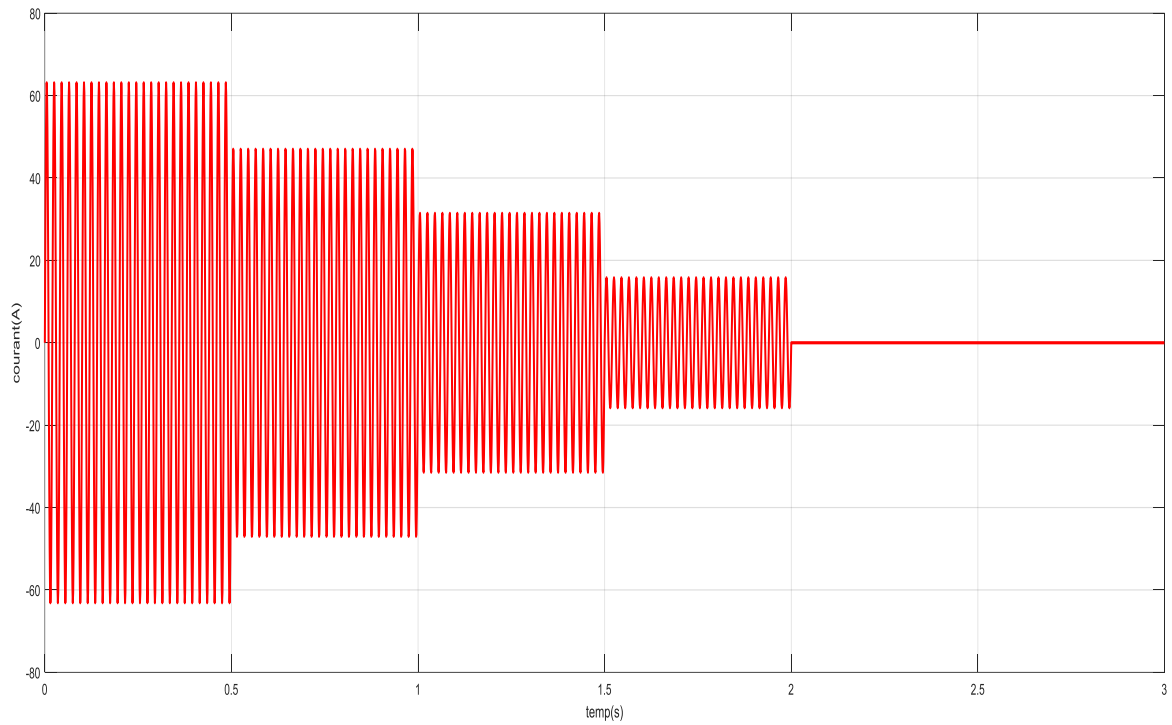


Figure 4.9 Courant générer par la source 1

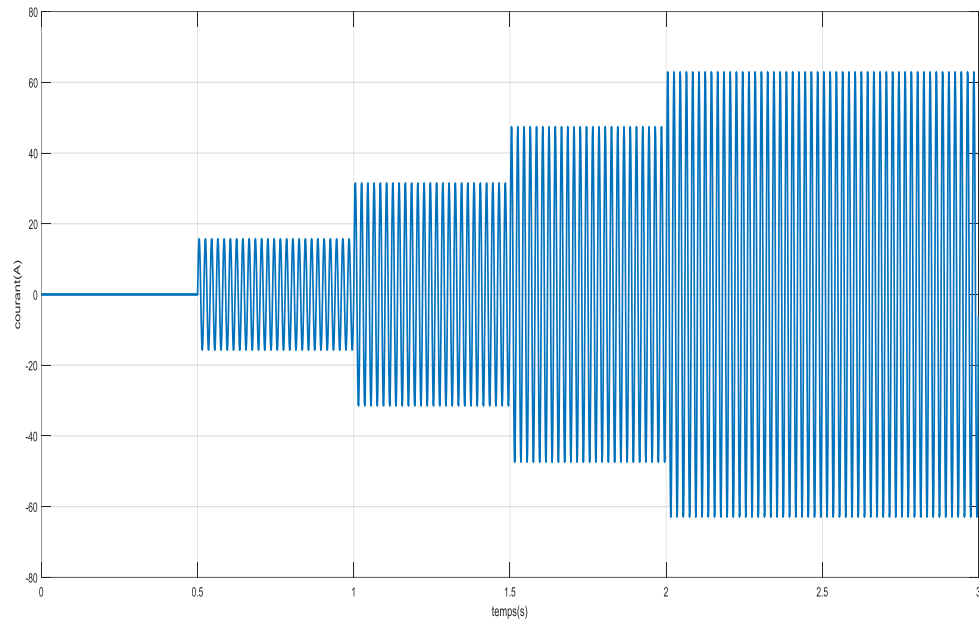


Figure 4.10 courant générer par la source 2

D'autres essais de validations on été fait pour des radiations variables voir figure 4.11.

Les figure 4.12 et 4.13 représente respectivement les courants générer par le PV et le réseau.

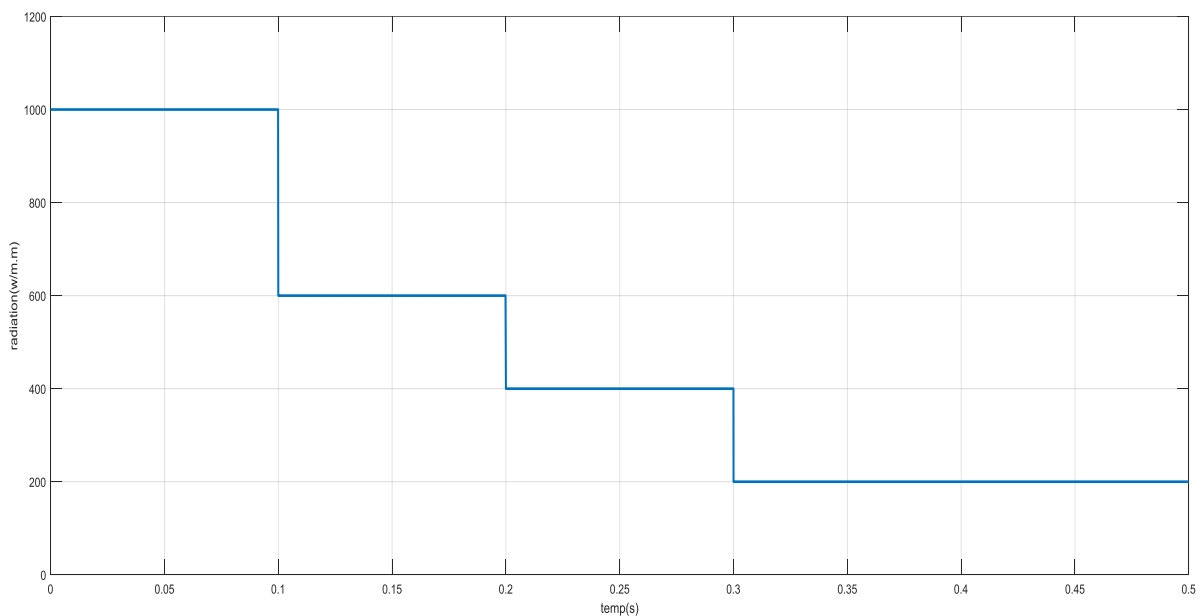


Figure 4.11 radiation imposé au générateur photovoltaïque

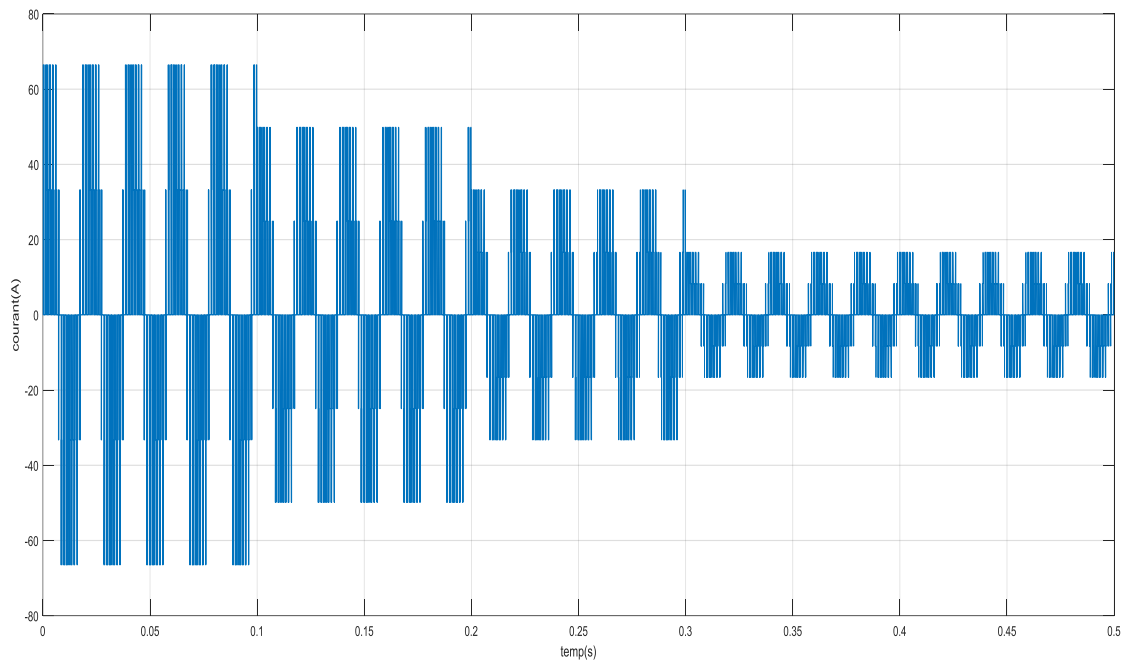


Figure 4.12 courant générer par le PV

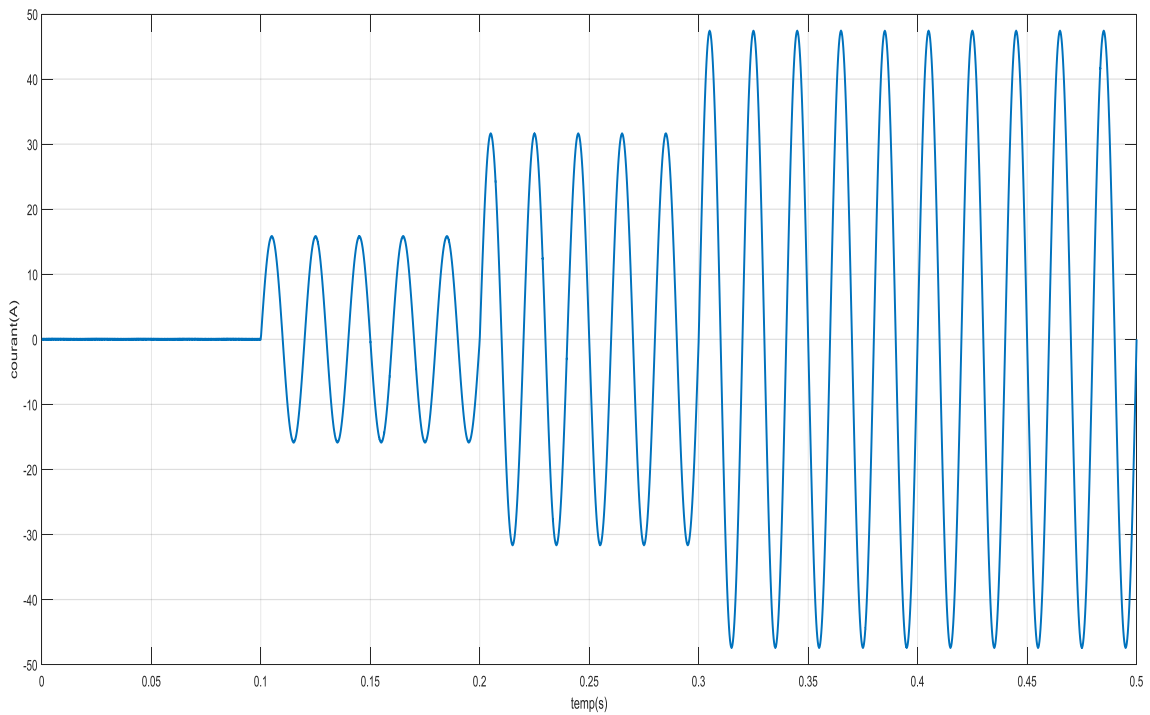


Figure 4.13 courant générer par le réseau électrique

Les organigrammes utilisés sont donnés par la figure 4.14 et 4.15, Ils permettent de gérer le basculement entre les deux sources

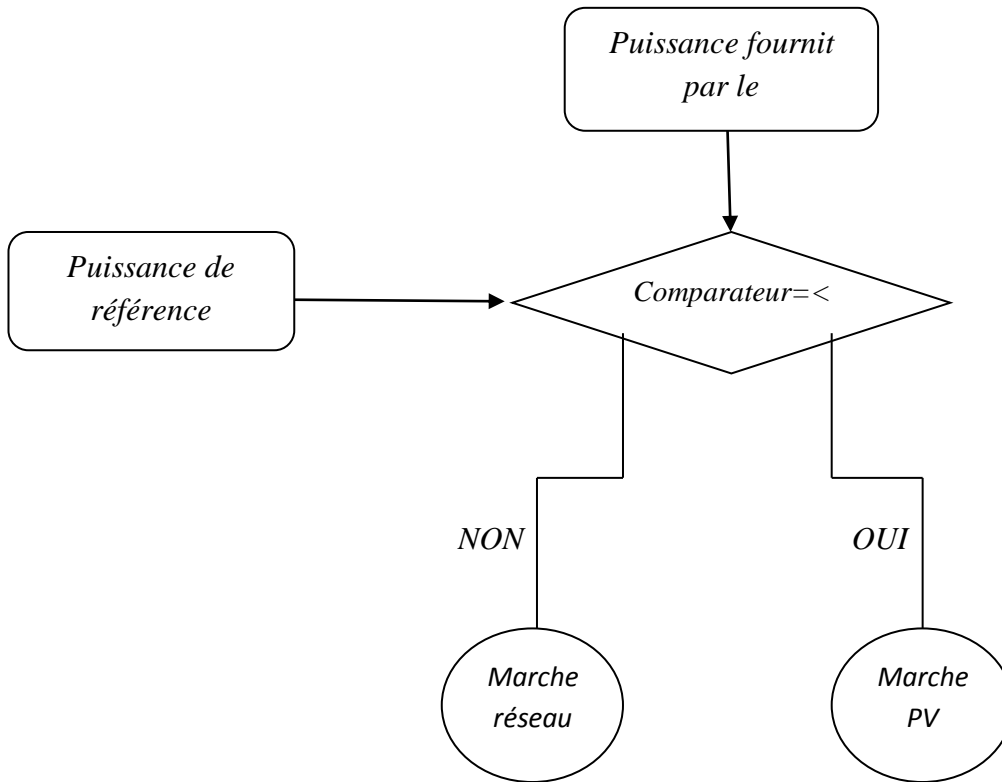


Figure 4.14 Schéma partiel de l'algorithme de basculement

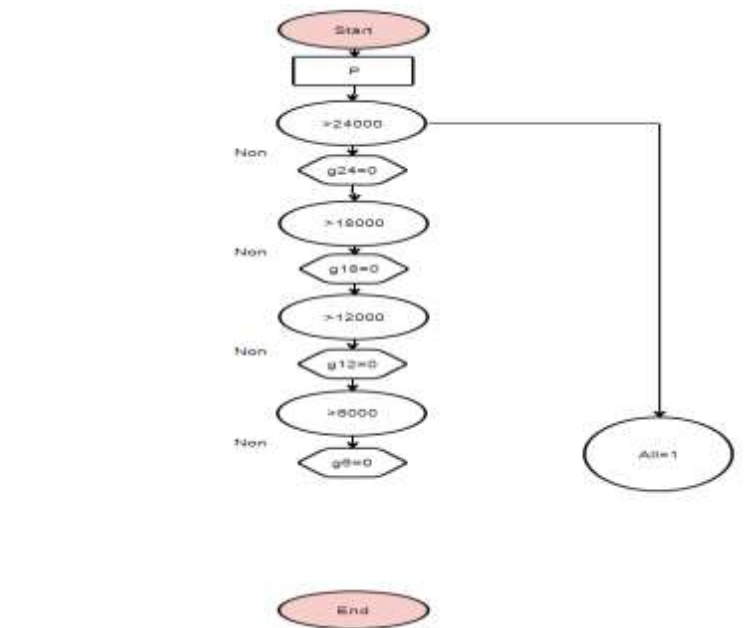


Figure 4.15 Schéma général de l'algorithme

Les schémas des figures suivantes correspondent au différent cas de l'algorithme de gestion, soit les cinq(05) cas possible de basculement des sources d'alimentation.

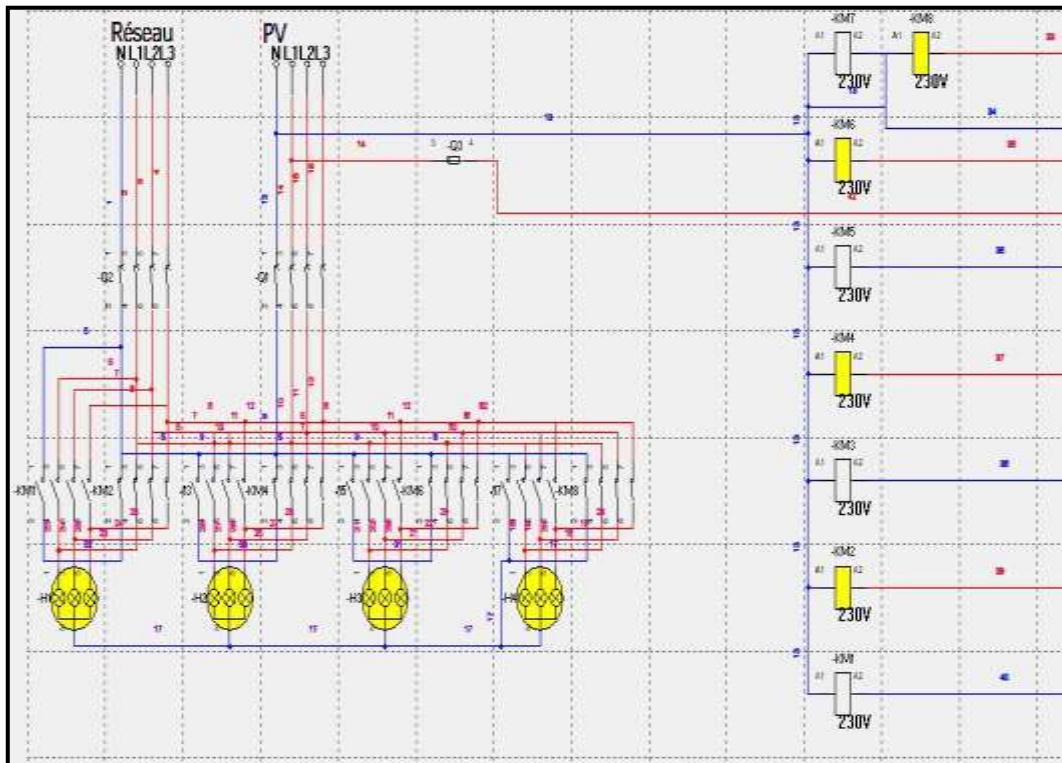


Figure 4.16 cas 01 de l'algorithme

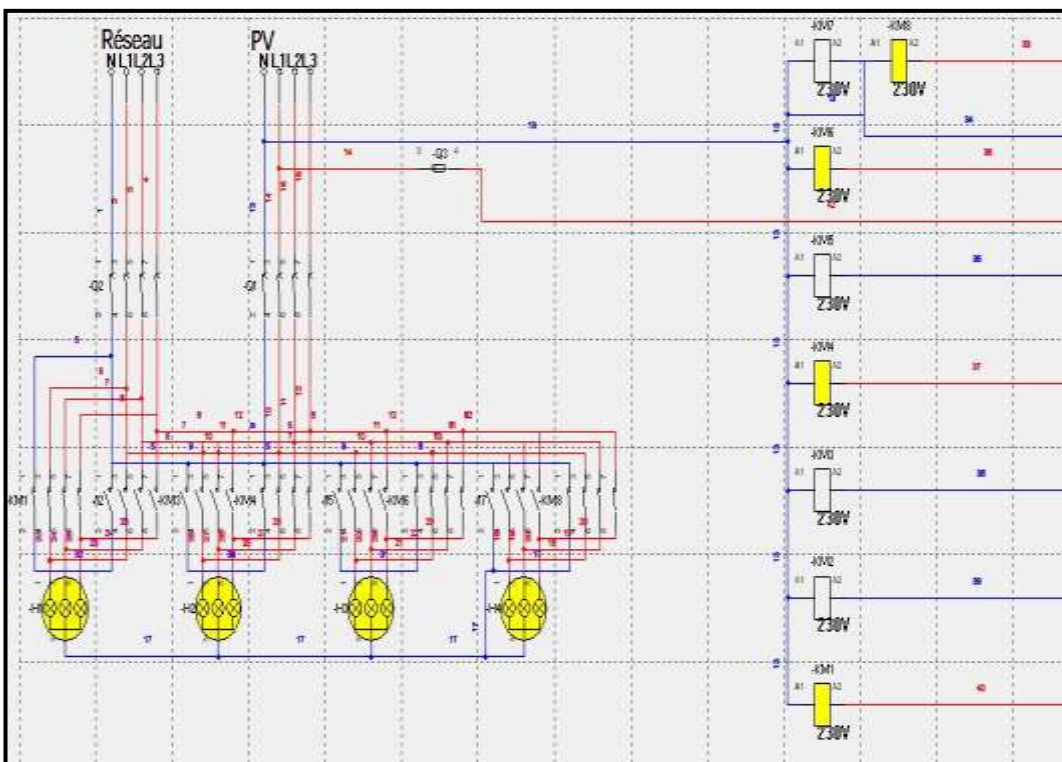


Figure 4.17 cas 02 de l'algorithme

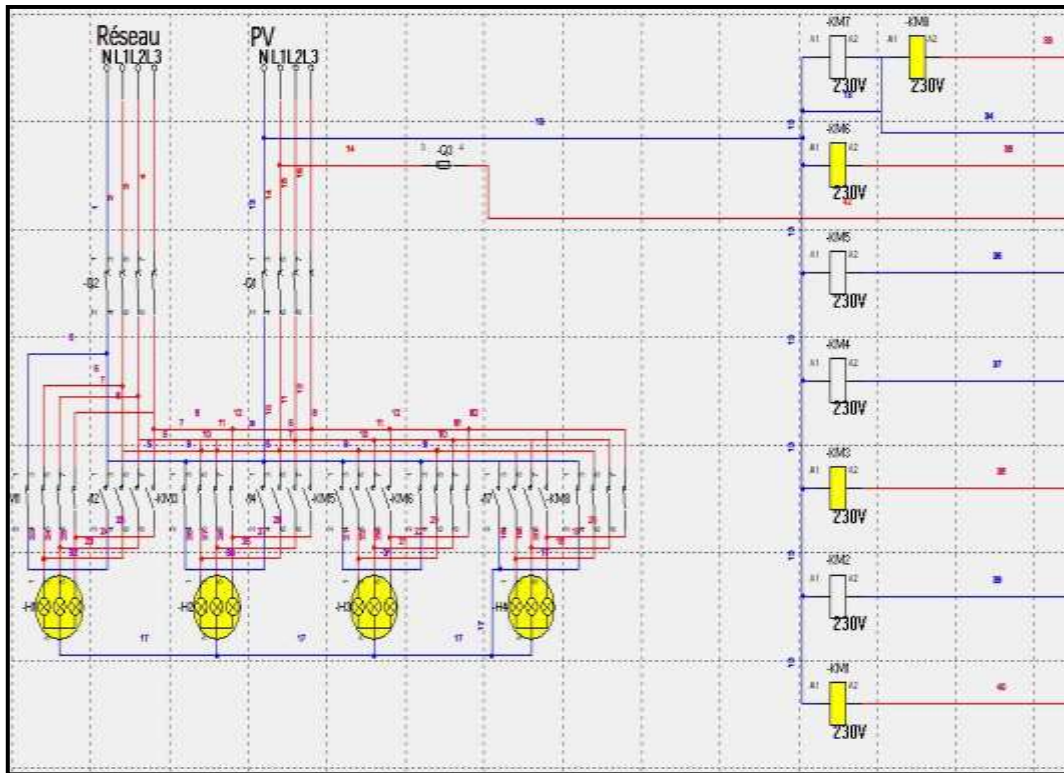


Figure 4.18 cas 03 de l'algorithme

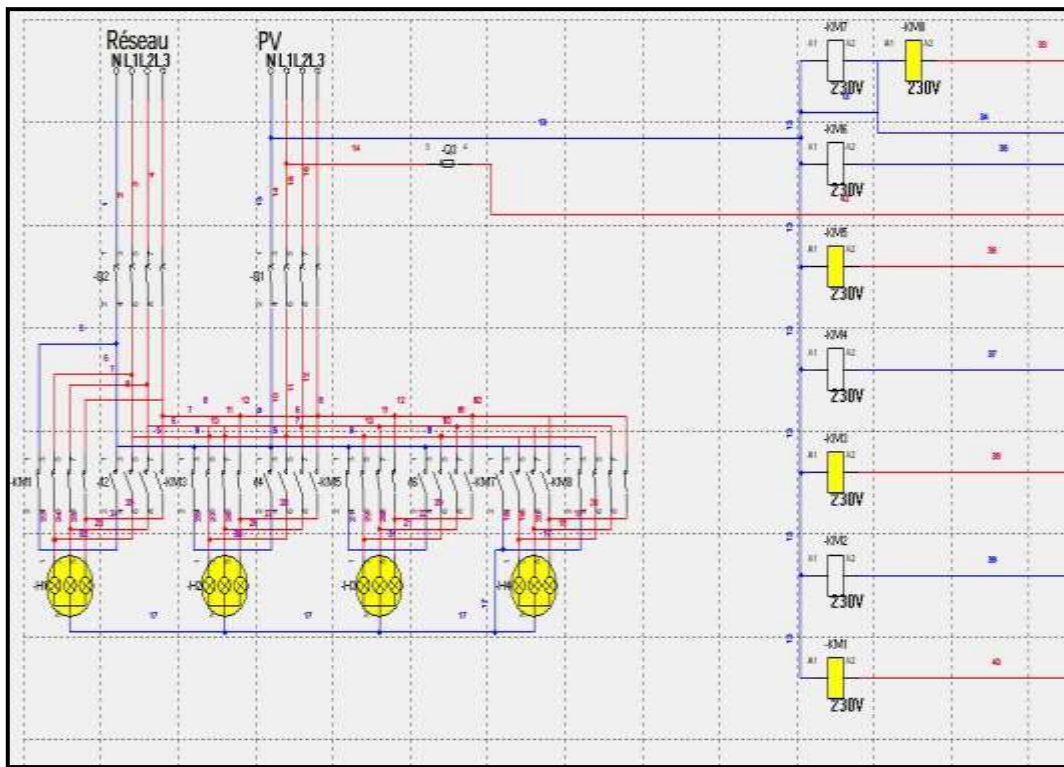


Figure 4.19 cas 04 de l'algorithme

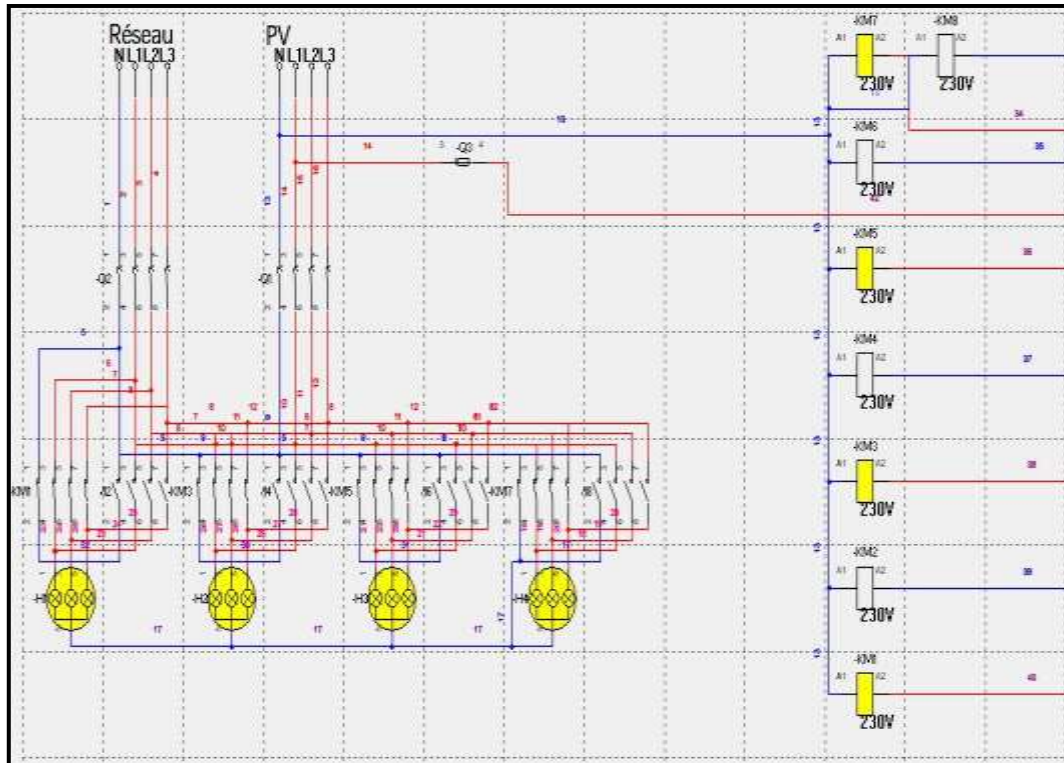


Figure 4.20 cas 05 de l'algorithme

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté dans une première partie une gestion d'inverseur avec une logique câblée, et cela pour deux cas de figures en donnant la priorité une fois au réseau électrique de fournisseur et une autre fois en donnant la priorité à la central photovoltaïque. Notre travail a été présenter avec le logiciel Schémaplic 3.0.

Dans une deuxième partie nous avons développées un programme sous MatLab. capable d'alimenter une charge partiellement en photovoltaïque et compense le reste par le réseau électrique et cela se fait au dépend du besoin de la charge qui et de la puissance fournie par la centrale photovoltaïque, ce fonctionnement est validé par une consommation de courant des deux sources.

Et, en dernière partie nous avons présenté et simuler ce programme à 5 modes de fonctionnement sur le logiciel Schémaplic 3.0

Conclusion générale

Dans ce mémoire de fin d'études notre travail s'est posé sur la modélisation et la commande d'un système photovoltaïque, on a répartie le travail en quatre parties essentielles.

Une première partie ou on a évoqué l'essentiel sur les systèmes photovoltaïques ainsi que leurs principes de fonctionnements, leurs avantages et leurs inconvénients.

Ensuite en deuxième partie nous avons établi un dimensionnement du système PV pour un site industriel d'une puissance utile de 18Kw et d'une consommation journalière de 31200Wh et d'une présentation de l'ensemble des équipements.

Dans la troisième partie, nous avons fait une étude et une simulation de la chaine photovoltaïque cette simulation a été faite sous Matlab afin de valider le fonctionnement de la chaine photovoltaïque.

Enfin, dans le dernier volé de ce mémoire nous avons divisé la consommation du site industriel en quatre (quatre ateliers) et mis des inverseurs de sources (Réseau/PV) a la tête de chaque atelier, le basculement se fait en fonction de la puissance fournit par le générateur photovoltaïque. Cette gestion du basculement se fait par un algorithme que nous avons développé sous Matlab, cet algorithme est valider par l'absorption du courant par la charge au niveau des deux sources.

Ceci nous a permis d'envisager une solution secondaire au problème de manque d'ensoleillement qui est généralement traité par un stockage via batteries, ces dernières en plus d'être encombrantes à cause de leurs grand volume ne sont pas toujours rentables économiquement quant il s'agit d'installation photovoltaïque de grande puissance (industrie) qui nécessite une importante capacité de stockage, le recours au basculement au réseau de distribution électrique est donc une solution techniquement envisageable et économiquement rentable.

- [1] Conférence "L'autre énergie solaire" par Alain Ferrière, CNRS
- [2] Judikaël LE ROUZO - Energie solaire Photovoltaïque : du matériau à la cellule.
- [3] Mr. MAROUF ADIL « Création d'une entreprise d'installation des panneaux solaires» mémoire fin d'études master Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen. 2013-2014
- [4] BOUALEM, DENDIB, "Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïque : étude comparative." Université Ferhat Abbes-Sétif Mémoire de Magister, Département d'électronique TS4/6338, 2007.
- [5] R. Chenni « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », Thèse de Doctorat Université de Constantine 2007.
- [6]<https://www.victronenergy.fr/solar-charge-controllers/smartsolar-250-85-250-00#datasheets>
- [7] S. Baig, Prof K. Gupta (2015) Performance of Mathematical Modeling of Photovoltaic module with Simulink buck-boost converter, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT), ISSN: 2277-9655, Vol.4,No.6, pp.722-726.
- [8] M. Adouane, «*Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique*», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [9] GUELLAL .A, MOKHTARI A.R, KHERCHIM , "La Commande MPPT Basée sur les Algorithmes Intelligents Destinée aux Applications Photovoltaïques : Etude comparative et implémentation sur FPGA", Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Département Électronique, Université Aamr Telidji-LAGHOUAT, 2016.
- [10] Y.Baklli «Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur PV » mémoire Magister, Université de Boumerdes 2005
- [11] K.Amara « contribution a l'étude de conception d'une centrale PV » mémoire Magister université de Tizi ouzou 2015
- [12] A .Mabrouk « étude de conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique » mémoire de magister en électricité solaire de l'école nationale polytechnique El HARRACH, Alger 2008
- [13] Philippe Barrade, "électronique de puissance méthodologie et convertisseurs Élémentaire", presse polytechnique et universitaires, 1ère édition 2006.
- [14] Condor Electronics ; Catalogue des kits solaires 2014
- [15] Zrourou L., Tamadrari S., Alkama R. et Arkoub M. Dimensionnement d'une installation solaire pour maison isolée à Béjaia, Béjaia 2015

[16] «Étude d'un système solaire thermique : Effet de l'orientation des panneaux solaires ». **Saoussen Khalfallaoui, Dominique Seguin, Moulay Ahmed Abdelghani-Idrissi** LSPC Université de Rouen.

[17] Institut du monde arabe (IMA) (2006). Pétrole, énergie solaire et nucléaire dans le monde arabe. In Institut du monde arabe. [En ligne]. http://www.imarabe.org/aujourd'hui/actualites_popup.php?i=47 (Page consultée le 21 novembre 2009).

[18] Bérubé, N. (2009). Les centrales solaires d'Obama dans la ligne de mire des écolos. In Cyberpresse. Site de Cyberpresse inc., [En ligne]. <http://www.cyberpresse.ca/international/correspondants/200910/23/01-914177-lescentrales-solaires-dobama-dans-la-ligne-de-mire-des-ecolos.php> (Page consultée le 18 novembre 2009).

[19] M. Oukachmih ; les cellules photovoltaïques a base de materiaux organiques discotiques ; Thèse de doctorat en électronique option matériaux, technologies et composants, université paul sabatier, 2003

[20] *H. Derbal: « Cellules Solaires Photovoltaïques Plastiques Nanostructures », Thèse De Doctorat, Université D'Angers, (2009).*

[21] *N. B. Benahmed,: « Propriétés Physiques Des Semi-Conducteur (Si Monocristallin Et Ge) Et Simulation Des Cellules Solaire a Base De Si ET SiGe», These De Magister*