



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE: Science et Technologie

DEPARTEMENT : Electronique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

BENALIA Rania Siham

MECHRAOUI Zineb

DOMAINE : Sciences et Technologies.

FILIERE : Energies renouvelables

OPTION : Energies renouvelables en électrotechnique.

Thème

**Etude et simulation d'un onduleur solaire destiné à
une application domestique de 2k Watt**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
ROUGAB Ilyes	MAA	Président
Ameur Khaled	MCB	Examineur
ABOUCHABANA	MAA	Encadrant
HADJAISSA Boubakeur	MCA	
CoEncadrant		

Dédicaces

A la personne qui a sacrifié sa vie pour moi, et qui a relevé le défi d'assurer mes études, à l'homme qui a éclairé le chemin de ma réussite, à toi mon chère père Prof. Mokhtar.

A la prunelle de mes yeux celle qui m'a toujours soutenue pour qu'elle me voit au sommet, à toi ma chère mère Fatiha.

Au bonheur de ma vie :

Mon cher frère 'Mohamed'

et mes sœurs 'Amel, Hanane, Zahra, Israa'.

Ma petite ange 'Myrale'

A la mémoire de ma tante Yassia

A mes grandes mères, que dieu mes les garde.

A mon oncle prof. Attalah

A toute ma grande famille sans exception.

A tous mes très chères amis.

A tous ceux qui me sont chers,

Je dédie mon modeste travail pour vous tous...

RANJA SJHAM

Dédicaces

*Je dédie ce succès à ma mère Asma, mon père
Maamar.*

*Et à mon mari Ismail KAZOUAI et à toute ma
familles tous ceux qui m'ont aidé.*

Zineb

Remerciements

*En premier lieu, nous adressons le droit de reconnaissance et de remerciement à notre bienfaiteur **Allah** le miséricordieux de nous avoir inclus parmi les constants ayant reçu leur entière rétribution et de nous avoir également aidé à atteindre ce niveau de la science et de la technologie tout au long de notre cursus et le prie d'être notre protecteur dans le monde du travail tout en nous assurant, santé, réussite, et bonheur dans la vie.*

*Nos plus sincères remerciements à notre encadreur **Dr. ABOUCHABANA Nabil**, nous lui exprimons toute notre reconnaissance pour sa confiance en notre travail, sa patience et les nombreux conseils qu'ils nous ont prodigués.*

*Nous voudrions présenter nos remerciements à notre Co-Encadreur **Dr. HADJ AISSA Aboubakar**.*

*Nos vifs remerciements vont également aux **Dr. DELASSIA, Dr. CHAKER.S** et **Dr. BOUGRINE.M.** et aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.*

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de l'université de Laghouat, en particulier les enseignants de la faculté ST, département de génie électrique.

الملخص:

تعتبر الكهرباء الشمسية من أهم الطاقات المتجددة من الناحية البيئية. من خصائص الألواح الشمسية أنها لا تعطي استطاعتها العظمى إلا في نقطة عمل معينة, تلك النقطة غير ثابتة بل تتحرك مع الظروف الجوية من شدة الضوء و الحرارة , لذلك وجب استعمال نظام تعقب للاستغلال الأمثل للطاقة المتوفرة.

الهدف من عملنا هو دراسة تركيب الخلايا الكهروضوئية المحلية لثلاثة مصادر للطاقة بواسطة برنامج "MATLAB"simulink , مروراً بالخطوات التالية. في الخطوة الأولى قمنا بتطبيق MPPT بواسطة تقنية "P&O" في المحول المستمر , ثم لدينا منظم PI. من ناحية أخرى , لدينا بطاريات وشبكة. بعد نقطة التقاء التوتر المستمر , لدينا المحول المتناوب الشمسي هو قلب تركيبنا الكهروضوئي. إنه يحول التيار الناتج عن الألواح الشمسية إلى تيار متردد.

الكلمات المفتاحية: الاستطاعة العظمى , مستمر , محول مستمر , محول متناوب , كهر وضوئي.

Abstract:

Solar electricity is seen as an important source of renewable energy. The photovoltaic array is an unstable source of power since the peak power point depends on the cell temperature and the insolation level. A maximum peak power point tracking is then necessary for maximum efficiency.

The objective of our work is to study a domestic photovoltaic installation of three power sources by MATLAB 'simulink', follow the next steps. In the 1st step we applied the MPPT command by 'P&O' technology in the Boost converter, then we have the PI regulator. on the other side, we have batteries and network. After the DC bus, the solar inverter which is the heart of our photovoltaic installation. It converts the current produced by solar panels into alternating current.

Keywords: photovoltaic, MATLAB 'simulink', MPPT, P&O, Boost, PI, DC, solar inverter

Résumé:

L'électricité solaire est vue comme étant une importante source d'énergie renouvelable. Le générateur photovoltaïque est une source caractérisée par un certain point de fonctionnement où la puissance générée est maximale. Ce point se déplace en fonction des conditions atmosphériques, un mécanisme de tracking s'avère alors indispensable pour que le générateur photovoltaïque travaille avec une meilleure efficacité.

L'objectif de notre travail consiste à étudier une installation photovoltaïque domestique de trois sources d'énergie par logiciel de MATLAB 'simulink', suivez les étapes suivantes . Dans la 1er étape nous avons appliqué la commande MPPT par technologie 'P&O' dans le convertisseur Boost, ensuite on a le régulateur PI. d'autre part, nous avons des batteries et le réseau. Après le bus DC l'onduleur solaire qui est le cœur de notre installation photovoltaïque. Il convertit le courant produit par des panneaux solaires en courant alternatif.

Mots clés : Photovoltaïque, Matlab 'simulink', MPPT, P&O, Boost, PI, DC, Onduleur.

Liste des figures

CHAPITER I	
Figure I.1: Principe du fonctionnement de la cellule photovoltaïque	2
Figure I.2: Schéma équivalente d'une cellule Pv	4
Figure I.3 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque4	4
Figure I.4 : Courbe caractéristique P-V	6
Figure I.5 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle	7
Figure I.6 : Caractéristique d'un groupement en parallèle de N_p cellules identiques	7
Figure I.7 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série	8
Figure I.8: Caractéristique d'un groupement en série de N_s cellules identiques	8
Figure I.9 : Constitution d'un générateur photovoltaïque	9
Figure I.10 : Influence de la température sur les courbes (I-V et P-V	9
Figure I.11 : Influence de l'ensoleillement sur les courbes (I-V et P-V)	10
Figure I.12 : schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome	11
Figure I.13: installations photovoltaïques hybride.	12
Figure I.14 : installation photovoltaïque raccordée au réseau	12
Figure I.15 : Connexion GPV-charge à travers un convertisseur DC/DC	14
Figure I.16 : Caractéristique P_{PV} (V_{PV}) d'un panneau solaire	15
Figure I.17 : Organigramme de l'algorithme perturbation et observation	16
Figure I.18 : la forme d'onde avec et sans MPPT de la puissance, rapport cyclique et tension de PV avec un éclairement de 1000 W/m^2 et température de 25°C Matlab/Simulink	17
CHAPITER II	
Figure II.1 : Symbole de convertisseur DC/DC	18
Figure II.2 : Circuit électrique de base du hacheur survolteur	19
Figure II.3 : Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur	20
Figure II.4: Les résultats de montage d'un hacheur Boost avec Matlab/Simulink	21
Figure II.5 : Circuit électrique de base du hacheur dévolteur	22
Figure II.6 : Caractéristique de la V et des I dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck	23
Figure II.7: Les résultats de montage d'un hacheur BUCK sur Matlab/Simulink	23
Figure II.8 : symbole de l'onduleur	24
Figure II.9: schéma onduleur monophasé	25
Figure II.10: Principe de la technique (MLI)	25
Figure II.11 : redresseur monophasé non commandé	26
Figure II.12: Schéma bloc de correcteur PI	26

Liste des figures

Figure II.13: schéma bloc de la boucle fermé de régulation du hacheur boost	27
Figure II.14 : Abaque du temps de réponse réduit	28
CHAPITER III	
Figure III.1 : onduleur solaire	32
Figure III.2 : schéma synoptique de notre onduleur proposé	35
Figure III.3: Algorithme de gestion	36
Figure III.4 : Schéma principal	37
CHAPITER IV	
Figure IV.1 : schéma bloc du système complet à l'aide de MATLAB/SUMILINK	42
Figure IV .2: Le bloc de la commande MPPT simulé par MATLAB	43
Figure IV.3 : Forme d'onde avec MPPT de : Tension, courant et puissance du GPV dans les conditions standards	44
Figure IV.4 : variation de l'éclairement	46
Figure IV.5 : Forme d'onde avec MPPT, en cas du changement de l'ensoleillement en utilisant la méthode P&O combinée avec un hacheur boost à $T=25^{\circ}\text{C}$	46
Figure IV.6: variation de la température	47
Figure IV.7 : Forme d'onde avec MPPT et sans MPPT, de la puissance en cas du changement de la température en utilisant la méthode P&O combinée avec un hacheur Buck boost à $S=1000 \text{ W/m}^2$	47
Figure IV.8 : Le bloc de régulateur PI implanté sur un boost	48
Figure IV.9 : La tension du bus DC	48
Figure IV.10: Batterie avec le convertisseur bidirectionnelle	49
Figure IV.11 : bloc de réseau avec redresseur	50
Figure IV.12 : la tension de sortie de réseau	50
Figure IV.13 : bloc d'onduleur monophasé	51
Figure IV.14 : la tension alternative avant le filtrage	51
Figure IV.15 : Le signale de la tension alternative qui alimente la charge AC	52
Figure IV.16 : le mode 1	53
Figure IV.17 : mode2	54
Figure IV.18 : mode3	54
Figure IV.19 : mode4	55

Sommaire

Sommaire

Introduction général	1
CHAPITRE I	
GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE ET COMMANDE MPPT	
I.1 Introduction	1
I.2 Historique	1
I.4 L'énergie solaire	1
I.4.2 La cellule PV	2
I.4.3 Principe de fonctionnement d'une cellule PV	2
I.4.4 Différentes technologies de cellule solaire	3
I.4.5 Caractéristiques d'une cellule PV	4
I.4.6 Association des cellules PV en parallèle	6
I.4.7 Association des cellules PV en série	7
I.5 Le générateur PV	8
I.5.1 Influence de la température sur la caractéristique $I=f(v)$ et $P=f(v)$	9
I.5.2 Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(v)$ et $P=f(v)$	10
I -5.3 Protections classiques d'un GPV	10
I.6 Type des systèmes photovoltaïque	11
I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie PV	13
I.7.1 Inconvénients	13
I.7.2 Avantages	13
I.8 La commande MPPT et le générateur PV	13
I.8.1 Principe de fonctionnement du MPPT	14
I .8.2 Principe des commandes "Perturb and Observe"	14
I .9 Conclusion	17
CHAPITRE II	
Convertisseurs statiques, les techniques utilisés, et l'élément de stockage	
II.1 Introduction	18
II.2 Les convertisseurs statique	18
II.2.1 Les convertisseurs DC/DC	18
II.2.1.1 Hacheur Boost	19
II.2.1.2 Hacheur Buck	22
II.2.1.3 Hacheur Bidirectionnelle	24
II.2.2 Les onduleurs	24
II .2.2.1 ONDULEURS DE TENSION MONOPHASÉS	24
II.2.2.2. Modulation de largeur d'impulsion(MLI)	25
II.2.3. Les redresseurs	26
II.3. La structure asservie de hacheur parallèle en utilisant le régulateur PI	26
II.4. Le stockage	29
II.5 les réseaux électrique	31
II .6 Conclusion	31
CHAPITR III	
Les onduleurs solaires	
III.1. Introduction	32
III.2. L'ONDULEUR SOLAIRE	32
III.2.1. Les différents types d'onduleurs solaires	33
III.2.2. Avantages et inconvénients d'un onduleur photovoltaïque	33

Sommaire

III.2.3 Comment choisir l'onduleur solaire	34
III.3. La structure proposée de notre onduleur	34
III.3.2. Gestion du flux d'énergies	35
III.3.3 Algorithme de gestion	35
III.4 Dimensionnement d'installation photovoltaïque que on doit connecter à notre onduleur	37
III.4.2. Dimensionnement de module PV	38
III.4.3. Dimensionnement de batterie	40
III.5 Conclusion	41
Chapitre IV Simulation et résultats	
IV.1 Introduction	42
IV.2 BUS DC	43
IV.2.1 Simulation du système PV avec La commande MPPT	43
IV.2 .1.1 Le fonctionnement sous les conditions standard	43
IV.2.1.2 La commande MPPT sous température et éclairément variables	44
IV.2.2 Hacheur Boost avec PI	48
IV.2.3 Bloc batterie et réseau	48
a- Batterie avec convertisseur	48
b- Réseau avec convertisseur	49
IV.3 La conversion DC/AC en utilisant l'onduleur monophasé	51
IV.4 La gestion de l'énergie	52
IV.4.1 Mode 1	52
IV.4.2 Mode 2	53
IV.4.3 Mode 3	54
IV.4.4 Mode 4	55
IV.5 Conclusion	55
Conclusion générale	56

Sommaire

Liste des symboles

V : la tension (en volt)
I : le courant (en ampère)
V_{co} : tension de circuit ouvert
I_{cc} : courant de court circuit
P : la puissance (en watt)
FF : facteur de forme
 η_m : le rendement
N_p : nombre des cellules en parallèle
N_s : nombre des cellules en série
L : inductance
C : capacité
R : résistance
K : la constant de Boltzmann (1.38  Joules/Kelvin).
T : la température de la cellule en Kelvin.
n : le facteur de non idéalité de la jonction.
D : rapport cyclique

Sommaire

Liste des tableaux

Tableau I.1: Performances des différentes technologies des cellules photovoltaïques

Tableau 1.2.Table de vérité de l'algorithme 'perturbation et observation

Tableau II.1 : Différents types de batteries

Tableau III.1 : le prix d'onduleur

Tableau III.2 : Caractéristique technique du panneau

Tableau III.3:Tension générateur en fonction de la puissance

Tableau III.4: nombre des panneaux utilisé

Tableau III.5: nombre des batteries utilisé

Sommaire

LISTE DES ABREVIATIONS

Acronyme	Signification
AC	Courant Alternatif
DC	Courant Continu
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
GPV	Générateur Photovoltaïque
MLI	Modulation de la Largeur d'Impulsions
MPPT	Maximum Power Point Tracking
P&O	Perturbation et Observation
PV	Photovoltaïque

Introduction général

Introduction générale

L'énergie renouvelable est un domaine qui étudie les nouvelles technologies de d'électricité, surtout lorsque nous savons qu'il y a une diminution des réserves pétrolières et gazières.

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40% par an.

Le soleil représente la source énergétique la plus abondante, ce qui encourage les chercheurs à orienter leurs efforts en vue d'exploiter cette source. Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer le rayonnement solaire en énergie électrique.

Les convertisseurs de puissance jouent un rôle très importants dans les systèmes photovoltaïques, il existe plusieurs types des convertisseurs : continu-continu (DC /DC) , Alternative-Continu (AC /DC) , Alternative -alternative (AC /AC), Continu Alternative(DC/AC).

Des recherches ont été faites dans le but d'améliorer les convertisseurs de puissance en vu techno-économique.

Les convertisseurs DC/AC de types onduleurs, sont apparus dans la littérature scientifique dans les années 2000 à travers les travaux du Professeur Fang Zheng Peng publiés dans l'article de congrès paru en 2002.

La conception de l'installation photovoltaïque doit répondre à des caractéristiques techniques bien précises qui dépendent de l'environnement métrologique, géographique Dans ce travail intitulé «Etude et simulation d'un onduleur solaire destiné à une application domestique de 2k Watt», nous nous intéressons à l'étude d'un onduleur solaire destiné aux applications photovoltaïques a domestique avec stockage et connecté au réseau par la conception de structure contient des convertisseurs DC/DC, DC/AC et AC/DC.

Ce travail est présenté en quatre chapitres :

- Un premier chapitre qui est une présentation du GPV, ses caractéristiques, les facteurs influant sur ces caractéristiques du point de vue rendement et puissance, ainsi que son fonctionnement à son point de puissance maximale, par l'intermédiaire d'un algorithme MPPT (P&O).
- Le deuxième chapitre présente une étude préliminaire des convertisseurs DC/DC, et DC/AC et AC/DC de leur principe de commande et des différents types existants. Nous avons aussi présenté leur modèle mathématique, en passant par le problème de stockage et les solutions utilisées et en terminons par une définition sur le réseau.
- Dans le troisième chapitre nous entamons l'étude des onduleurs solaires, la stratégie d'énergie, et le dimensionnent d'installation, en calculant la consommation et le nombre de panneaux et des batteries nécessaires afin de connecter notre onduleur. Une présentation générale de notre onduleur proposé et aussi présenté dans ce chapitre.
- Le dernier chapitre présente les résultats de simulation obtenus avec une discussions de ces résultats.

Nous terminons notre étude par une conclusion générale sur l'ensemble de cette étude.

CHAPITRE I

Générateur Photovoltaïque Et Commande MPPT

I.1. Introduction

L'énergie photovoltaïque est une énergie dont la source est illimitée et non polluante et dont l'exploitation cause le moins de dégâts écologiques. Cette énergie peut être utilisée comme source d'énergie en site isolé ou bien en application connectée au réseau.

Ce premier chapitre et un bref rappel sur les générateurs photovoltaïques en présentant la commande MMPT dans un système PV.

I.2. Historique

L'hélio électricité, qui traite de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium, mais ce n'est qu'à partir de 1954, avec la réalisation des premières cellules photoélectriques au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leur développement et de rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace. Mais, pour des raisons techniques et économiques, cette nouvelle source d'énergie électrique a tardé à s'imposer en dehors du domaine spatial.

Cependant, au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même est devenue familière aux consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. Actuellement la valeur de puissance d'un module photovoltaïque est de quelques Watt crêtes à quelques dizaines de Watt crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série et/ou en parallèle plusieurs modules formant ainsi le générateur photovoltaïque. [2]

I.3. L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement, ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. L'énergie solaire est à l'origine des énergies hydriques et éoliennes sur Terre. Le rayonnement solaire peut être utilisé de deux manières:

- 1- Soit en utilisant la chaleur produit par le rayonnement : énergie thermique.
- 2- Soit en convertissant l'énergie solaire en électricité: c'est l'énergie photovoltaïque.

I.4. L'énergie solaire photovoltaïque

I.4.1. Définition

Le mot "photovoltaïque" est le mariage de deux mots- "photo", qui signifie lumière et "voltaïque", en rapport avec l'électricité. Aussi la technologie photovoltaïque, est le terme scientifique utilisé pour décrire l'énergie solaire, englobant la génération d'électricité à partir de la lumière. Le secret de ce procédé est d'utiliser des matériaux semi conducteurs qui sont adaptés pour que l'énergie lumineuse puisse arracher des électrons, des particules négatives et les déplacer suffisamment longtemps pour former la base d'une circulation électrique. Le semi conducteur le plus commun utilisé pour les cellules photovoltaïque (PV) est le silicium, un élément communément trouvé dans le sable (La silice). [11]

I.4.2. la cellule PV

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, elle est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que la température et du vieillissement de la cellule.

I.4.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs.

Une jonction PN est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur dopé N (Donneurs d'électron) et d'un semi-conducteur dopé P (composée de trous). L'interface entre ces deux régions s'appelle une jonction.

Lorsque la surface libre de la cellule est éclairée les photons d'énergies supérieures à la largeur de la bande interdite E_g peuvent exciter des paires électron-trou dans les régions quasi neutres P et N.

Les électrons et les trous créés respectivement dans les régions P et N diffusent et atteignent la zone de charge d'espace, accélérée par le champ électrique interne, ils traversent la zone de transition.

La région N reçoit des électrons et se charge négativement ; la région P accepte des trous et se charge positivement. Si on relie les côtés de la jonction à une charge, un courant I la parcourt et une différence de potentiel apparaît.

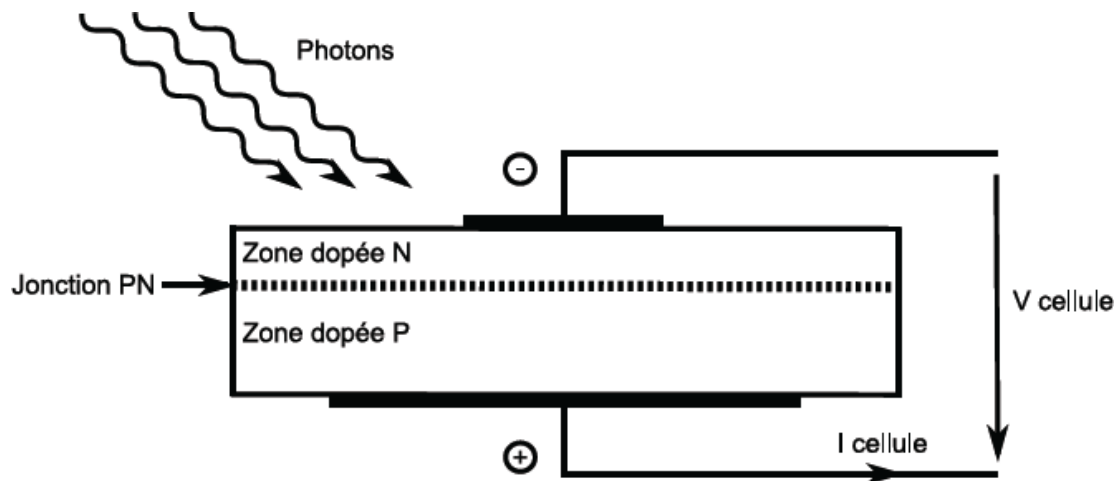


Figure I.1 : Principe du fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

I.4.4. Différentes technologies de cellules solaires :[3]

	Technologies	Rendement	Avantages	Inconvénients	Durée de vie
1ère Génération	Silicium monocristallin	14-17%	Bon rendement pour une cellule	Coût élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
	Silicium poly cristallin	12-15%	Bon rendement pour un module	Coût élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
2ième Génération	Silicium Amorphe	6-10%	Facile à fabriquer	Mauvais rendement	<10 ans
	Cdte	8-11%	Absorbe 90% des photons incidents	Cadmium très polluant	Non évaluée
	CIS/CIGS	10-12%	Energie de gap ajustable 99% des photons absorbés	Manque de matière première	5 ans
3 ^{ième} Génération	Cellules organiques	10%	Faible coût de fabrication, Flexible	Rendement encore trop bas	Faible actuellement

***Modèle électrique de la cellule photovoltaïque:[12]**

$$I_{cell} = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{V_{cell} + I_{cell} \times R_{serie}}{nVT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + I_{cell} \times R_{serie}}{R_{shunt}}$$

Ou

$VT = K \times T$ représente le potentiel thermodynamique.

I_{sat} : le courant de saturation de la jonction.

K : la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} Joules/Kelvin).

T : la température de la cellule en Kelvin.

n : le facteur de non idéalité de la jonction.

I_{cell} : le courant fourni par la cellule.

V_{cell} : la tension aux bornes de la cellule.

I_{cc} : le courant produit par la cellule lorsqu'elle est mise en court-circuit.

R_{shunt} : la résistance shunt.

R_{serie} : la résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions.

Le schéma équivalent est la suivante :

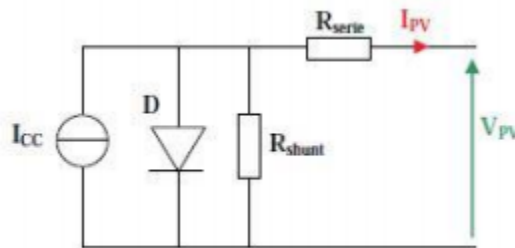


Figure I.2: Schéma équivalent d'une cellule PV. [13]

I.4.5. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

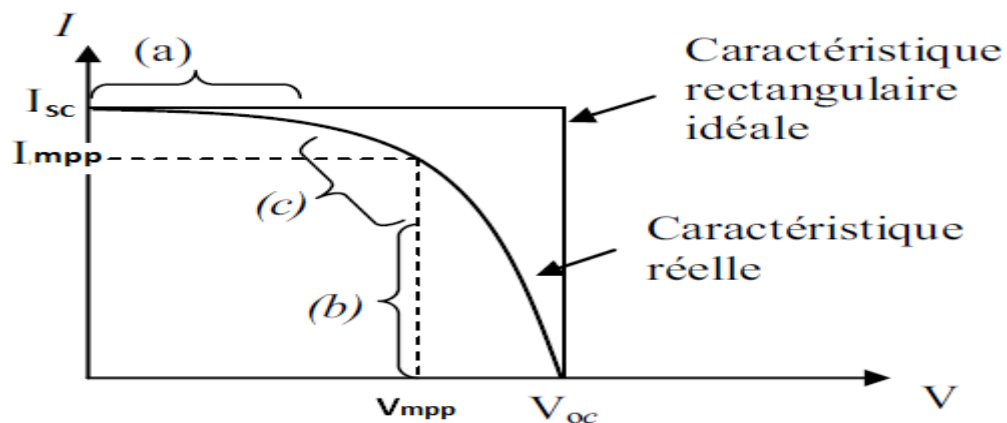


Figure I.3: Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.[2]

V_{oc} : tension à circuit ouvert.

I_{sc} : courant à court-circuit.

V_{mpp} : la tension au point maximum de puissance.

I_{mpp} : le courant au point maximum de puissance.

La caractéristique se divise en trois parties :

- La zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant I_{sc} proportionnel à l'éclairement.
- La zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension V_{oc} .
- La zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement.

a-Tension en circuit ouvert V_{co} :[2]

Si l'on place une cellule solaire sous une source lumineuse constante, sans aucun récepteur à ses bornes, celle-ci va produire une tension continue appelée tension en circuit ouvert V_{cell} (elle varie légèrement avec la technologie et l'éclairement). Cette valeur correspond à la tension de coupure d'une diode, ce qui confirme le fait que l'on puisse assimiler une cellule solaire à une jonction P-N. Pour obtenir une tension plus élevée à la sortie du module, il va falloir associer les cellules en série.

$$V_{co} = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \ln \left[\left(\frac{I_{cc}}{I_0} \right) + 1 \right]$$

b-Courant de court-circuit I_{cc} :[2]

A l'inverse du cas précédent, si l'on place une cellule en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle ; ce courant est dit courant de court-circuit. Le photocourant fourni par la cellule est proportionnel à l'intensité lumineuse et à la surface du panneau mis en œuvre. Ainsi, plus ces deux paramètres seront élevés, plus l'intensité produite sera grande. De même que pour la tension, il faudra associer les cellules en parallèle pour augmenter significativement la valeur de l'intensité en sortie du module.

$$I_{ph} = q \cdot G \cdot (L_n + L_p)$$

G : la quantité de paire électron-trou générée qui traverse la jonction

L_n et L_p : longueurs de diffusion.

c- Caractéristique Puissance-Tension :[2]

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairement, température, etc..), la puissance électrique (P) disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni (I) par une tension continue donnée (V) :

$$P = I \times V$$

P : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV en (Watt).

V : Tension mesurée aux bornes de la cellule PV (en Volt).

I : Intensité mesurée aux bornes de la cellule PV (en Ampère).

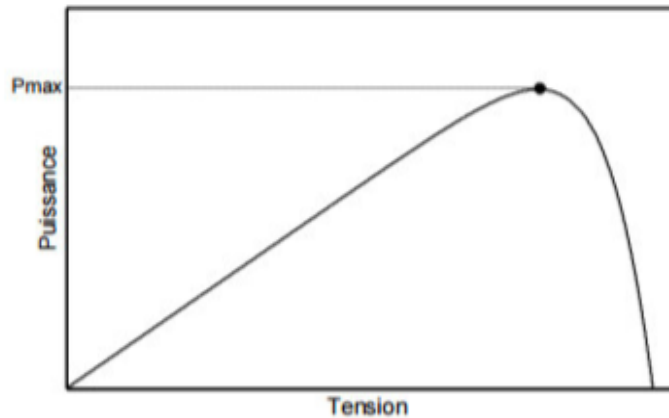


Figure I.4 : Courbe caractéristique P-V[2]

d-Facteur de forme d'une cellule PV :[2]

On identifie le facteur de forme, par le rapport de la puissance maximale au produit du courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert

$$FF = \frac{P_{max}}{P_I} = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{cc}}$$

e-Rendement :[2]

Le rendement des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente

$$\eta_m = \frac{V_m \times I_m}{P_o} = \frac{V_{co} \times V_{cc}}{P_o} \cdot FF$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court circuit et la tension de circuit ouvert.

I-4.6. Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle :

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement des cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [4]

$$I_{pcc} = N_p \cdot I_{cc} \quad \text{et} \quad V_{pco} = V_{co}$$

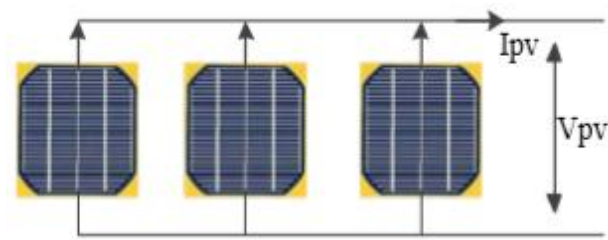


Figure I-5: Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle[4]

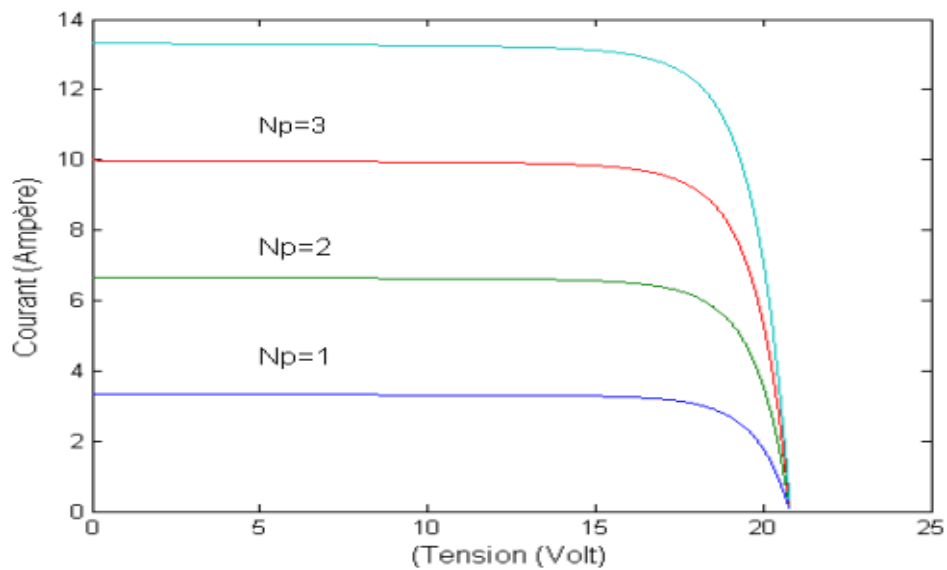


Figure I-6: Caractéristique d'un groupement en parallèle de N_p cellules identiques[4]

I -4.7.Association des Cellules Photovoltaïques en Série :

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné.[4]

$$I_{sc} = I_{cc} \quad \text{et} \quad V_{sc} = N_s \cdot V_{co}$$



Figure I -7: Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.[4]

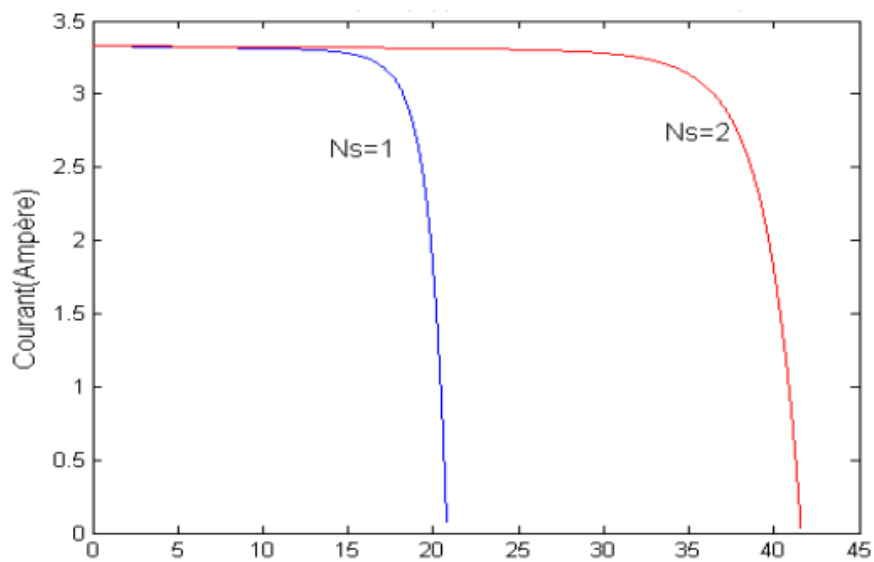


Figure I-8: Caractéristique d'un groupement en série de N_s cellules identiques[4]

I-5. le générateur PV et ses performances

Un module PV est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert.

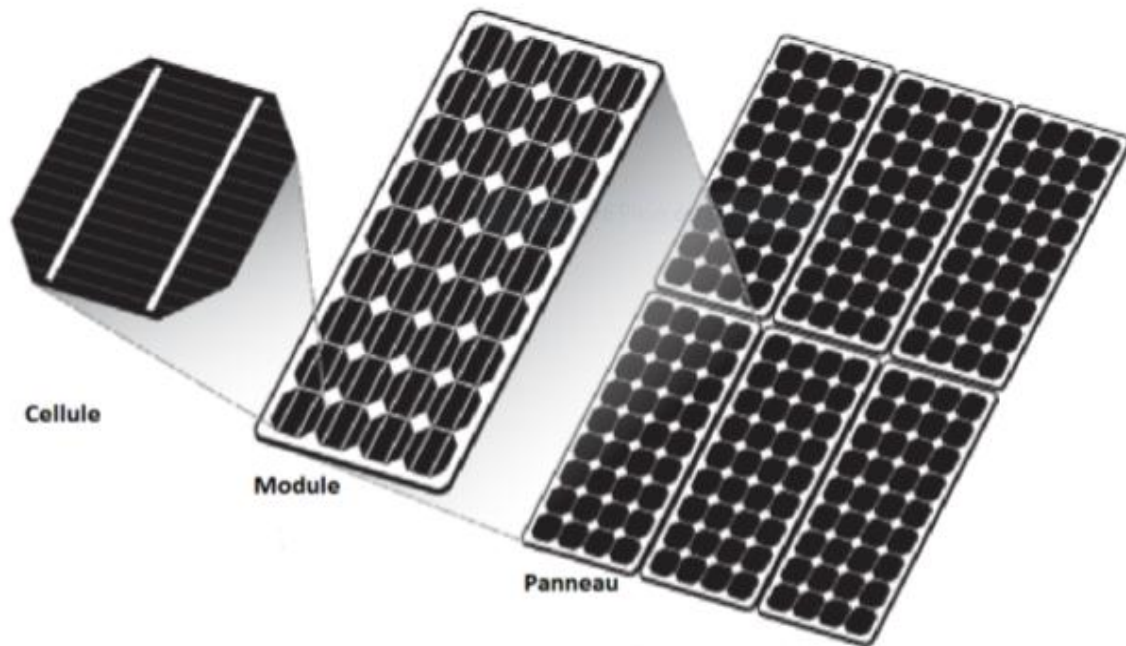


Figure I.9: Constitution d'un générateur photovoltaïque.[5]

I-5.1. Influence de la température sur la caractéristique $I=f(v)$ et $P=f(v)$

La figure I.10 présente les courbes I-V, P-V pour différentes températures de fonctionnement du module PV à une irradiation constante. Nous remarquons que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, (Cette diminution est de l'ordre de 2 mV par degré). L'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible, (cette variation est de l'ordre de 0,35% par degré). Donc lors du dimensionnement d'une installation, il est impérativement de prise en compte la variation de la température du site.

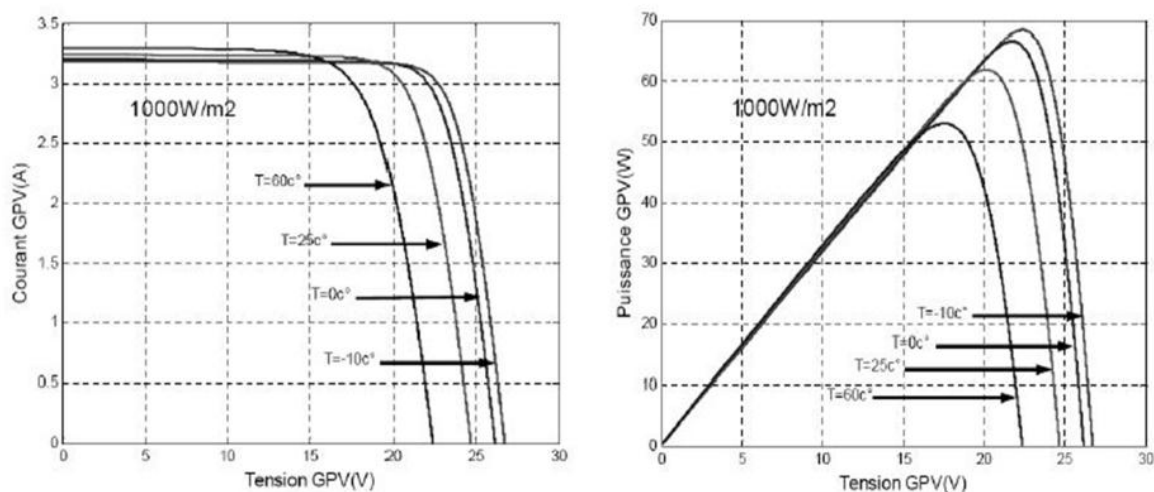


Figure I.10: Influence de la température sur les courbes (I-V et P-V).[6]

I -5.2 Influence de l'éclairements sur la caractéristique $I=f(v)$ et $P=f(v)$

La figure I.11 et représentent les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairements à température maintenue constante. On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement.

Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement

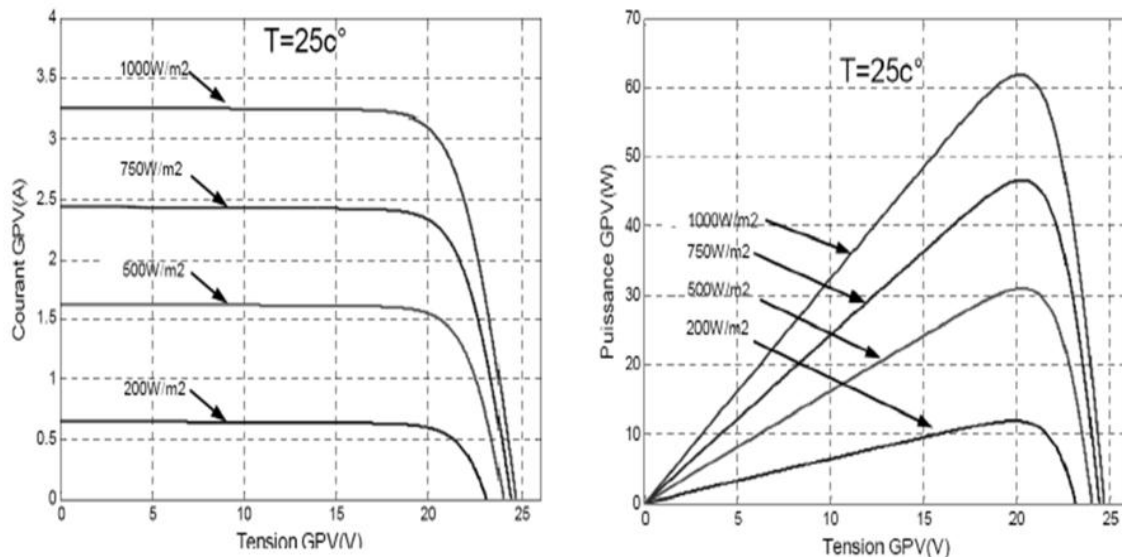


Figure I.11: Influence de l'ensoleillement sur les courbes (I-V et P-V). [6]

I -5.3 Protections classiques d'un GPV .

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en série et de panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit .

- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées.

I -6 Types des systèmes photovoltaïques :**I -6.1. Systèmes autonomes :**

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique.

Le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique).

En site isolé, on peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif.

Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur.[1]



Figure I.12 : schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome.[1]

I -6.2.Systèmes hybrides

Un *système photovoltaïque hybride* combine un générateur *photovoltaïque* avec d'autres sources d'énergie : éolienne, groupe électrogène, etc.

Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise.

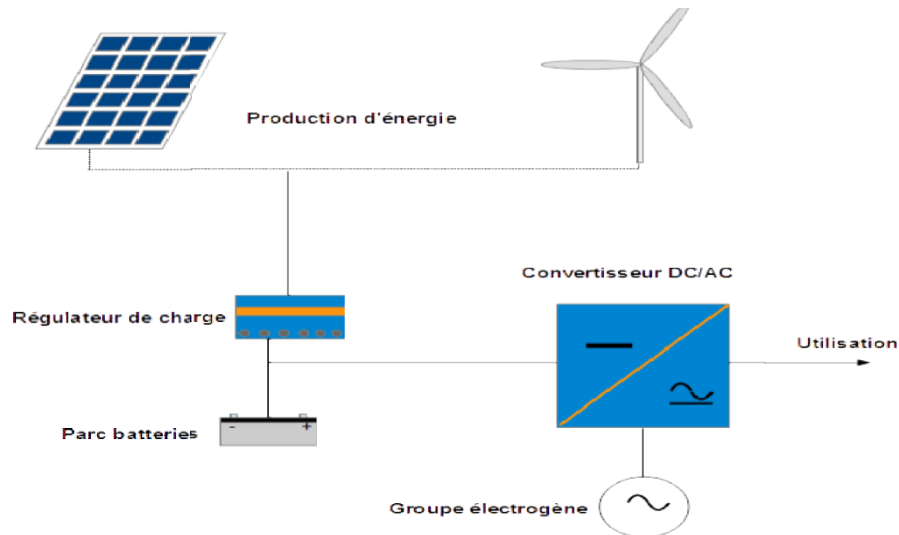


Figure I.13: installations photovoltaïques hybride. [1]

I -6.3.Systèmes photovoltaïques 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.

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher).[1]

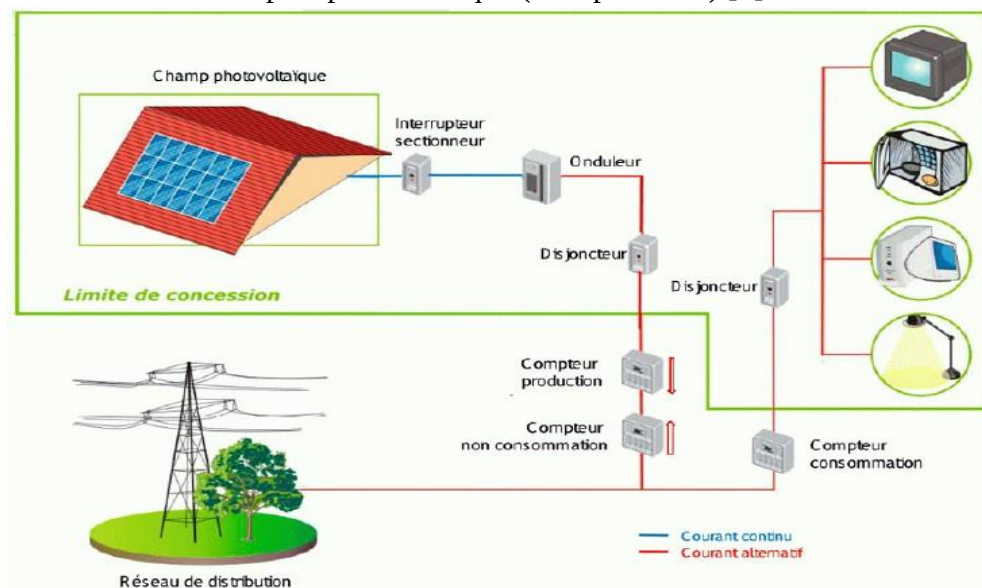


Figure I.14 : installation photovoltaïque raccordée au réseau.[1]

I -7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque**I .7.1 Inconvénients**

- L'installation nécessite beaucoup d'espace
 - La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
 - Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
 - Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
 - Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Beaucoup d'appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 220 V alternatif.

I .7.2 Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I -8 Commande MPPT et le GPV**I -8 1 Principe du MPPT**

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}). L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure(I.15)

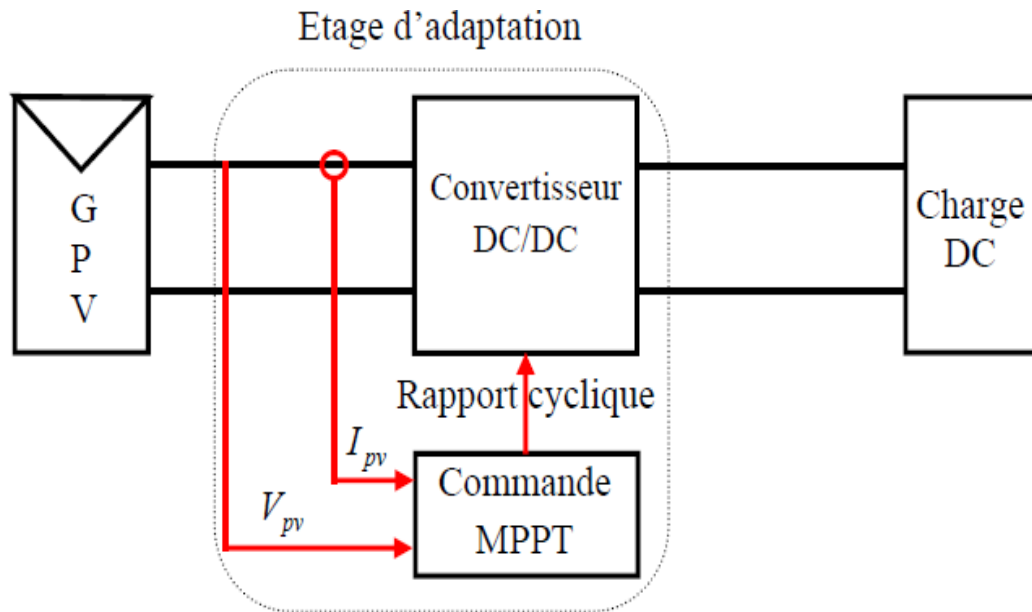


Figure I.15: Connexion GPV-charge à travers un convertisseur DC/DC.[5]

I.8.2 Principe des commandes “Perturb and Observe” (P&O).

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure I.16, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV(V_{pv}), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM.

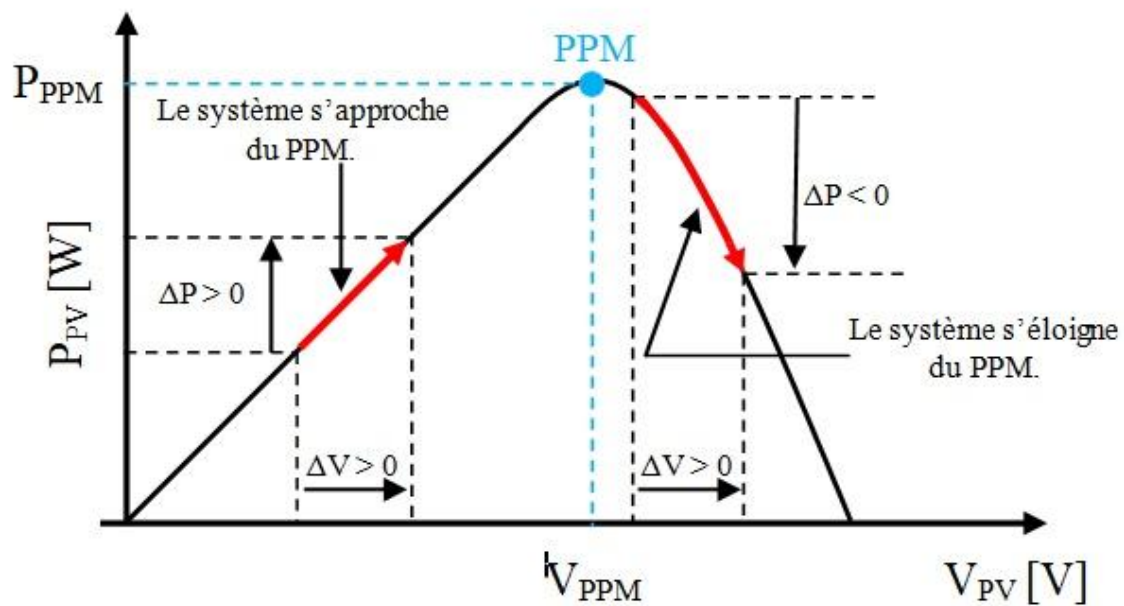


Figure I.16: Caractéristique P_{PV} (V_{PV}) d'un panneau solaire.[5]

Tableau 1.2. Table de vérité de l'algorithme 'perturbation et observation.

Perturbation de la tension	Observation de la puissance	Prochaine Perturbation
Positive (+)	Positive (+)	Positive (+)
Positive (+)	Négative (-)	Négative (-)
Négative (-)	Positive (+)	Négative (-)
Négative (-)	Négative (-)	Positive (+)

La figure I.17 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

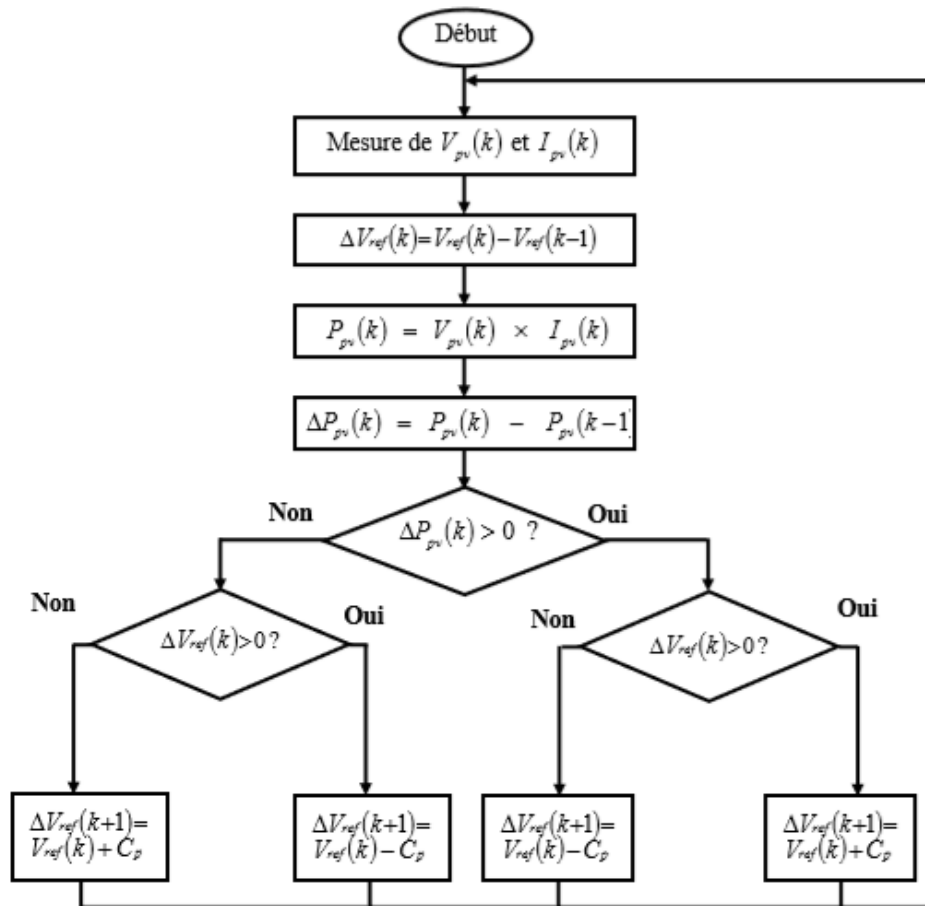


Figure 1.17: Organigramme de l'algorithme perturbation et observation

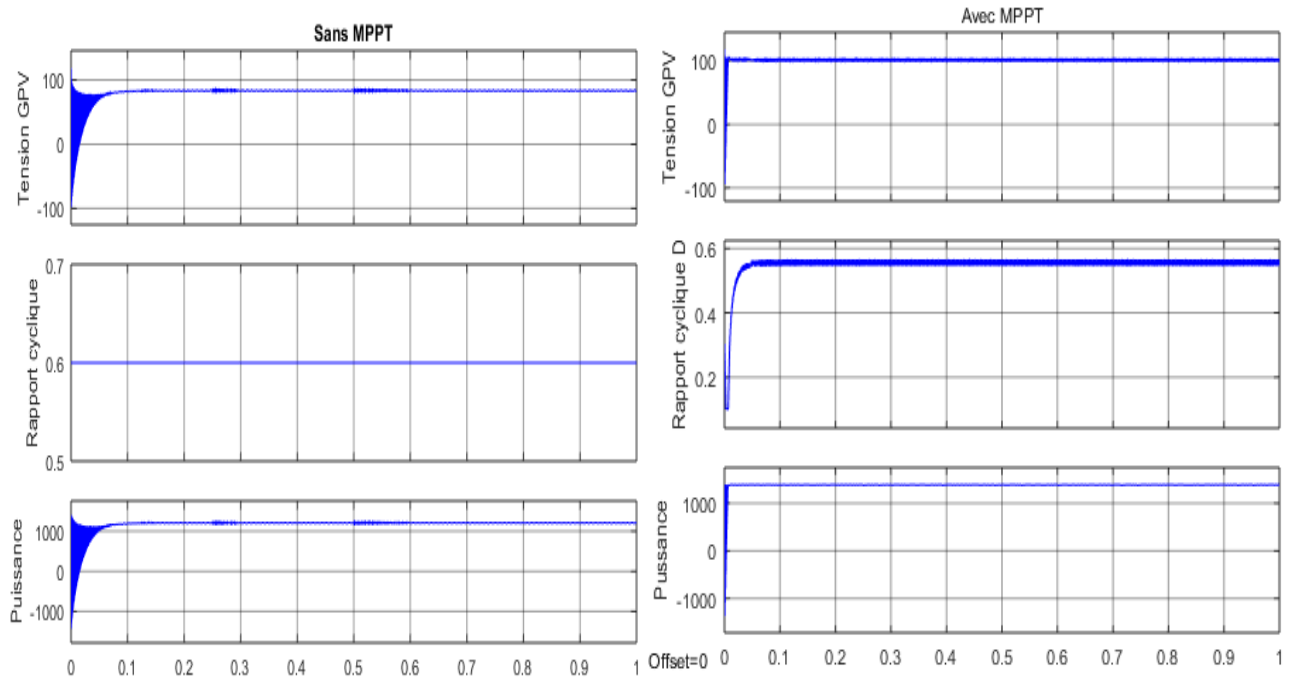
Telle que:

$P(k)$: La nouvelle puissance

$P(k-1)$: L'ancienne puissance

*Un inconvénient de la méthode de P&O est décrit par Hussein et al. Si une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite on aura une augmentation de la puissance du panneau, l'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui fait qu'il s'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continue jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement, moment où il revient vers le vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance.

La figure suivante explique la différence entre les formes d'onde de puissance, tension du panneau et le rapport cyclique sans et avec la commande MPPT, avec la méthode P&O intégrée dans le hacheur parallèle à 25°C et un



éclairement de 1000 W/m² :

Figure I.18 : la forme d'onde avec et sans MPPT de la puissance, rapport cyclique et tension de PV avec un éclairement de 1000 W/m² et température de 25°C Matlab/Simulink

I.9 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons donné quelques notions de bases utilisées dans les installations photovoltaïques tels que le principe de fonctionnement et caractéristiques d'un cellule, le générateur photovoltaïque, les avantages et les inconvénients de l'énergie PV, et qui nous semblent importants pour mieux comprendre la suite de notre travail. Nous avons aussi présenté la commandes MPPT et par la méthode (P&O).

Dans le chapitre suivant nous allons définir les convertisseurs statiques ses différents types et leurs modèles mathématiques.

CHAPITRE II

Convertisseurs statiques, les
techniques utilisées, et
l'élément de stockage

II.1. Introduction

L'électronique de puissance est la partie du génie électrique qui traite des modifications de la présentation de l'énergie électrique. Pour cela elle utilise des convertisseurs statiques à semi-conducteurs. Grâce aux progrès sur ces composants et sur leur mise en œuvre, l'électronique de puissance a pris une importance considérable dans tout le domaine de l'électricité industrielle.

Dans ce chapitre nous allons présenter brièvement les différents types des convertisseurs statiques utilisés dans notre installation, la commande MLI, l'élément de stockage et un petit bref sur le réseau.

II.2. Les convertisseurs statiques

Dans un système de conversion des énergies photovoltaïques la conversion de puissance peut contenir les deux étapes, une première conversion DC/DC puis une conversion DC/AC.

Dans les systèmes photovoltaïques connectés aux réseaux, la conversion DC/DC a généralement le rôle d'augmenter la tension pour que l'onduleur puisse réaliser un courant sinusoïdal à la tension des réseaux, les convertisseurs sont utilisés pour bien adapter la source à la charge. Ces convertisseurs peuvent être en courant continu, comme dans le cas d'utilisation MPPT pour une exploitation maximale de la puissance fournie par le générateurs PV, ou en courant alternatif comme dans le cas d'utilisation des charges en courant alternatif.

II.2.1. Convertisseurs DC/DC

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance.[4]

Le paramètre à surveiller dans le choix d'un convertisseur CC/CC est le rendement. Le rendement standard est de l'ordre de 70%, 95% pour les meilleurs.

Trois topologies de base de circuit de conversion seront décrites dans les paragraphes suivants (DC-DC) : Dans cette partie nous présentons le principe des trois types de convertisseurs DC/DC (Buck, Boost et bidirectionnelle), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités. Ce type de convertisseurs n'est constitué que par des éléments réactifs (Selfs, Capacités) qui, dans le cas idéal, ne consomment aucune énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement.[4]

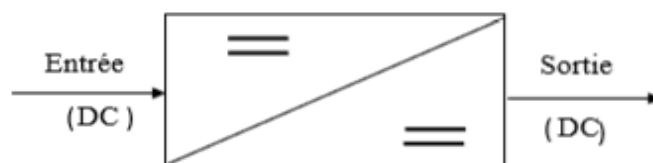


Figure II.1:

Symbole de convertisseur DC/DC

II.2.1.1. Le hacheur survolteur (Boost) [4] :

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élévateur de tension. Le schéma de la figure (II.2), représente le circuit électrique du Boost. Au premier temps (αT), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (I_L), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D).

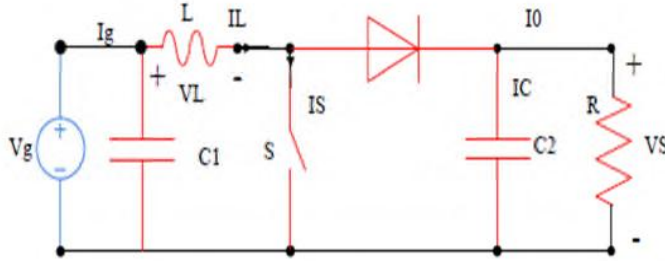


Figure II.2 Circuit électrique de base du hacheur survolteur.[4]

- Modèle mathématique équivalent

L'application des lois de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents des deux phases de fonctionnements donne :

- Pour la première période αT :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dv_g}{dt} = I_g - I_L$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = -I_0$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_g - R_L I_L$$

- Pour la deuxième période $(1-\alpha) T$:

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_g}{dt} = I_g - I_L$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = I_L - I_0$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_g - V_0 - R_L I_L$$

- Principe

Comme le présente la figure (II.2), lorsque l'interrupteur du transistor (S) est sur la position (On), le courant de l'inductance du hacheur augmente linéairement et à cet instant la diode (D) est bloquée (off). Et lorsque (S) tourne sur la position (off), l'énergie emmagasinée par l'inductance est dissipée dans le circuit (RC) bien que la diode (D) est passante.

Les caractéristiques de tension et du courant de charge du convertisseur Boost dans le cas de la conduction continue sont décrites par la figure (II.3), comme suit :

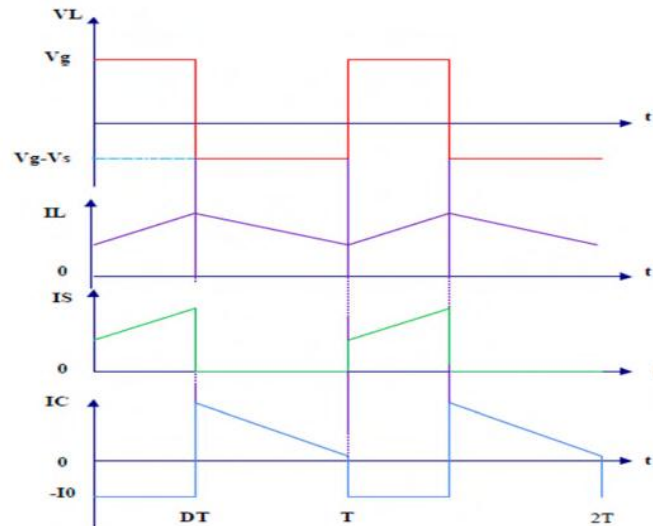


Figure II.3 : Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur[4]

Les ondulations des courants et des tensions

Pour le dimensionnement des différents composants du circuit afin de diminuer les ondulations des courants et des tensions sans faire un surdimensionnement ce qui accroîtrait le poids et le prix des circuits, un calcul de ces composants en fonction des ondulations voulues est nécessaire. Cette remarque est très importante pour le dimensionnement de l'inductance L afin de respecter le courant admissible par le transistor MOSFET S, où dans le cas pratique les ondulations du courant I_L sont plus importantes par rapport aux autres ondulations.

Ondulation de courant ΔI_L :

- On a :

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

Donc

$$\Delta I_L = L \Delta I_L$$

Ondulation de tension ΔV

- On sait que :

$$V_g I_g = V_s I_s$$

$$I_0 = I_g (1 - \alpha)$$

$$\Delta V_s = \frac{I_0 \propto T}{C}$$

$$\Delta V_s = \frac{I_g \propto (1 - \alpha)}{f C}$$

- Calcul de l'inductance :

A partir de l'équation on calcule l'inductance pour une ondulation de courant donnée, on trouve que

$$L = \frac{V_g \propto}{\Delta I L f}$$

- Calcul de la capacité du condensateur :

A partir de l'équation on calcule cette valeur de la capacité pour une ondulation de tension donnée

$$C = \frac{V_e \propto}{\Delta I L f}$$

Ci-dessous un exemple d'un hacheur Boost avec tension d'entrée $V_e = 100V$ pour une tension de sortie $V_s = 200V$ avec $\alpha = 0.5$ et $C = 100\mu F$ et $L = 30\text{ mH}$:

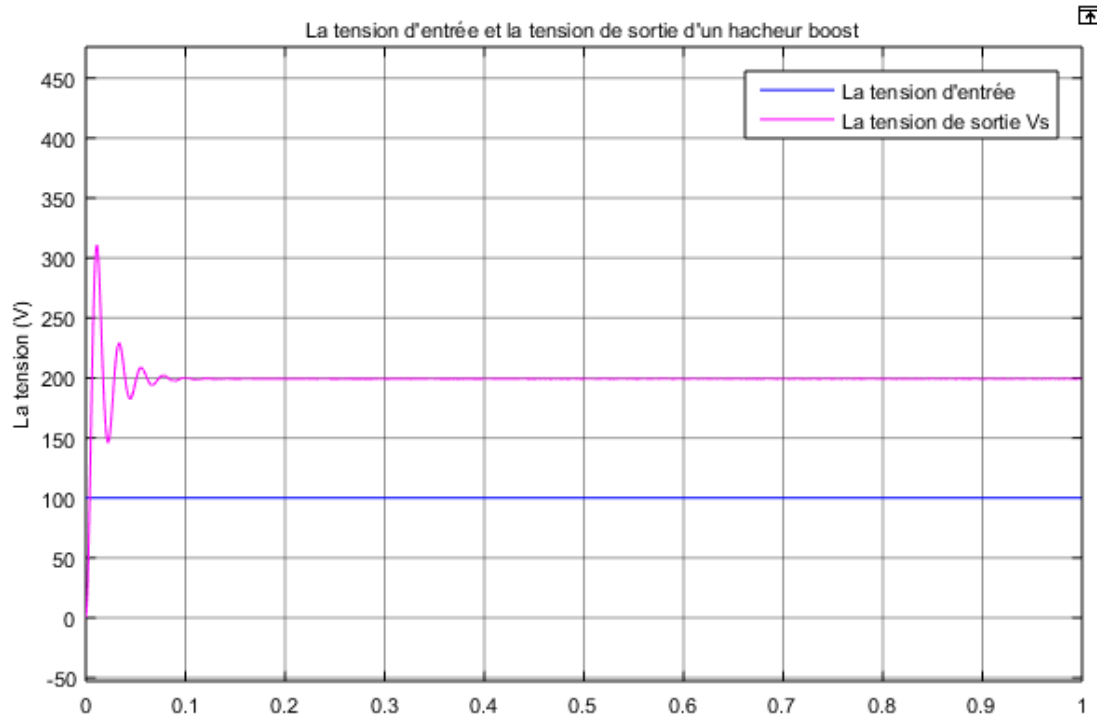


Figure II.4: Les résultats de montage d'un hacheur Boost avec Matlab/Simulink

II.2.1.2. Hacheur dévolteur (Buck)[4]

Le hacheur dévolteur, sous sa forme de base est présenté par la figure (II.4). Les composantes clés sont l'inductance (L), le commutateur (Transistor) (S), la diode (D,) et le condensateur (C). Celui-ci se charge par le commutateur (S) et qui maintient la tension à ces bornes jusqu'à l'ouverture de qui fait décharger son énergie à travers la diode sur la charge pour un cycle de période de fonctionnement.

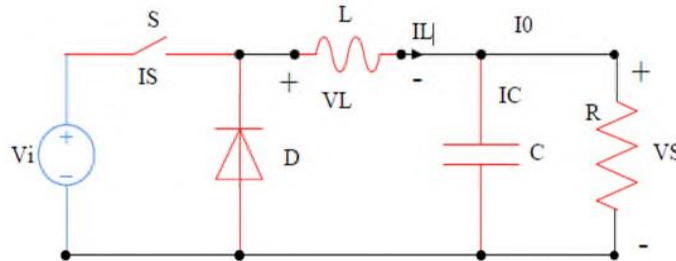


Figure II.5: Circuit électrique de base du hacheur dévolteur[4]

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source doit être plus grande que la tension aux bornes de la charge. L'équation mathématique caractérisant le courant de l'inductance est donnée par l'équation suivante

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{V_i - V_s}{L}$$

Le processus de commutation est décrit par la position de l'interrupteur (S). Dans le premier laps de temps (αT) le transistor est dans un état de saturation, alors l'inductance (L) se charge d'énergie avec augmentation du courant I_L .

Dans le deuxième laps de temps $(\alpha - 1) T$, l'inductance (L) libère cette énergie à la charge avec une diminution de courant I_L .

En négligeant la chute de tension à travers la diode, le taux de changement du courant est donné par :

$$\frac{\partial I}{\partial t} = -\frac{V_i}{L}$$

Lorsque le courant de l'inductance ne se décroît pas à zéro avant la commutation du transistor, le convertisseur fonctionne dans le mode de conduction continu dans ce cas, si la tension de charge dépend seulement de la tension de source et du rapport cyclique $\alpha = T_{on}/T$, la tension aux bornes de la charge :

$$V_s = \alpha V_i$$

Dans le mode de conduction discontinu le courant de l'inductance s'annule dans un cycle de commutation entre le transistor (S) et la diode. Dans ce cas, la tension de charge dépend d'une manière plus complexe du rapport cyclique et le courant de la charge.

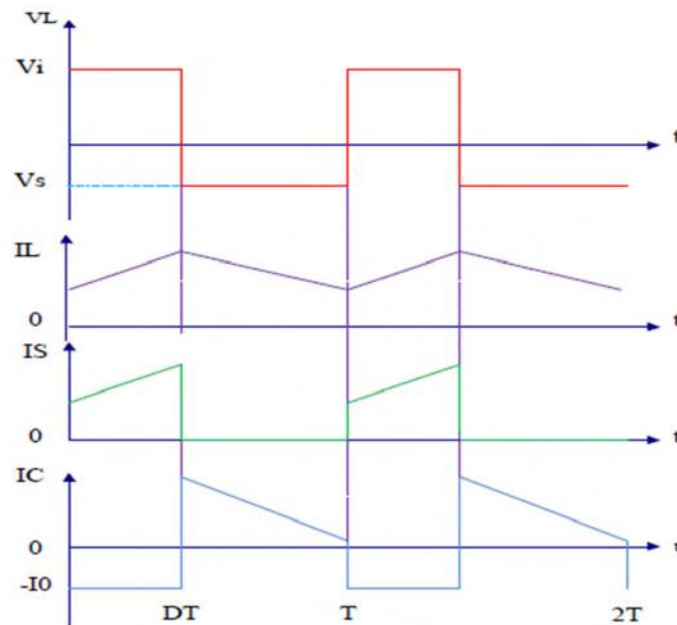


Figure II.6 : Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck [4]

Ci-dessous un exemple d'un hacheur série avec tension d'entrée $V_e = 100V$, rapport cyclique $\alpha = 0.5$, $C = 50\mu F$, $L = 10mH$, pour une tension de sortie $V_s = 50V$:

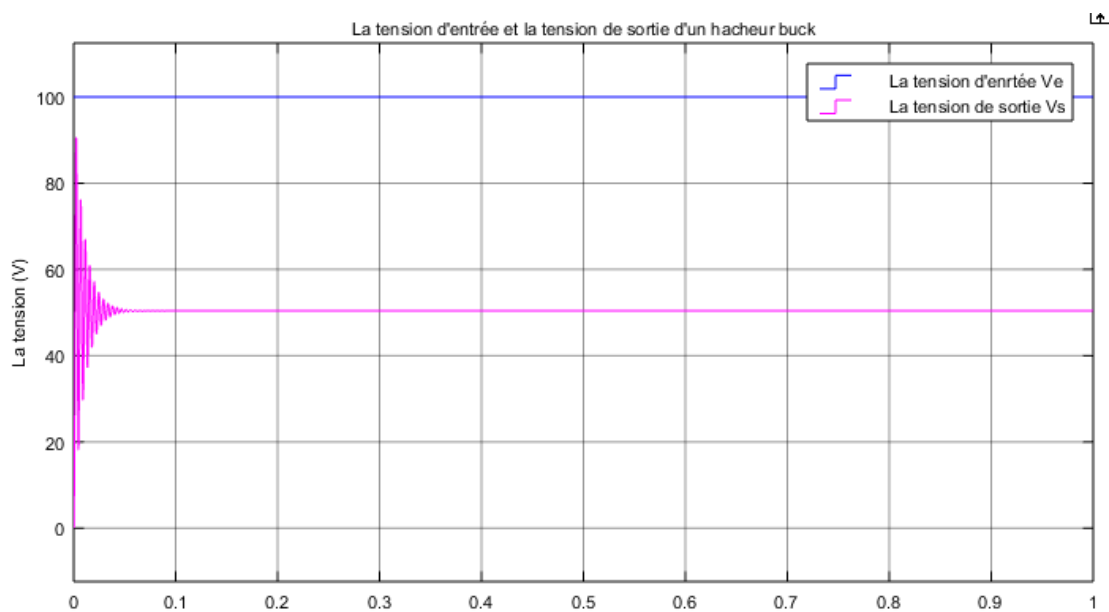


Figure II.7: Les résultats de montage d'un hacheur BUCK sur Matlab/Simulink

II .2.1.3. Le convertisseur bidirectionnelle

Ce hacheur dit aussi hacheur à stockage inductif peut fonctionner en Buck ou en Boost, il résulte de l'association des deux structures présidentes, il fonctionne comme un Boost dans le sens direct et en Buck dans le sens opposé en fixant le rapport cyclique de chaque un.

II.2.2. LES ONDULEUR

La tension produite par les modules photovoltaïques est continue et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est aussi de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer obligatoirement un onduleur au système PV destiné à alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur DC/AC, c'est-à-dire convertir la sortie continue (DC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative (AC) standards comme celle fournie par SONEGAS.

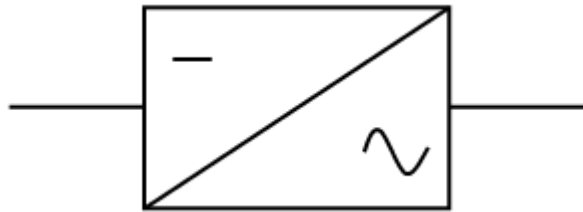


Figure II.8: symbole de l'onduleur

II .2.2.1. ONDULEURS DE TENSION MONOPHASÉS

Définition:

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance, un convertisseur statique continu-alternatif permettant de générer une tension alternative réglable à partir d'une source d'énergie électrique continue. L'onduleur autonome c'est l'onduleur pour site isolé, sa fonction principale de convertir une tension continue en tension alternative sinusoïdale semblable à celle du réseau électrique.

Fonctionnement :

La création d'une sinusoïde à partir d'une tension continue s'obtient grâce à des impulsions de tension de largeur bien déterminée, cette technique fait appel à la MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) en anglais PWM (Pulse width Modulation), (figure II.10) ou l'onde de sortie est superposée sur un train d'impulsion de largeur et d'espacement variable, le résultat de comparaison entre les deux signaux sert à commander l'ouverture et la fermeture des interrupteurs (transistors bipolaires) utilisés, et les diodes antiparallèles sont utilisées en série avec le transistor pour éviter la conduction inverse, figure (II.9)

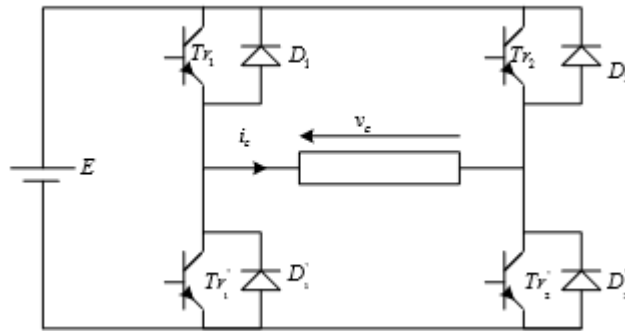


Figure II.9 : onduleur monophasé [7]

- - **Qualité du signal :**

La qualité de l'onde de tension obtenue sera évaluée par le TDH, ou taux de distorsion d'harmonique ramené au fondamental (TDH idéal = 0%). On pourrait aussi calculer le TDH :

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\text{eff}}^2}}{V_{1\text{eff}}}$$

II.2.2.2. Modulation de largeur d'impulsion (MLI)

La technique de modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation PWM) consiste à générer un signal carré avec un rapport cyclique modulé en fonction d'un signal de commande. Le signal généré peut servir à commander un circuit de puissance. La figure suivante montre le fonctionnement de la modulation de largeur d'impulsion (MLI). Une porteuse triangulaire est comparée à un signal de consigne, par exemple une sinusoïde. Le signal de consigne doit avoir une fréquence plus petite que la porteuse. Le signal de sortie est au niveau haut (disons 5 V) lorsque la consigne est supérieure à la porteuse, au niveau bas (0 V) dans le cas contraire. On considère le cas d'un signal de consigne à valeurs positives. Pour traiter un signal alternatif, il se fait de lui appliquer un décalage.[8]

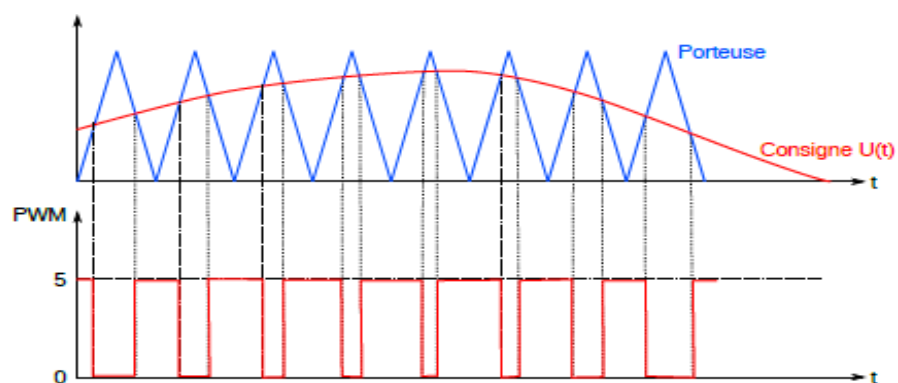


Figure II.10 : Principe de la technique (MLI).[8]

- **le filtrage** : Dans le cas d'un circuit R-L-C la résonance apparaît pour une fréquence propre :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La résonance est d'autant plus aigue que la valeur de la résistance est faible. Le circuit de charge est constitué d'une bobine, soit un circuit RL. Cette bobine doit être alimentée en haute fréquence pour générer un champ magnétique sinusoïdale. L'alimentation est constituée d'un onduleur dont la fréquence est accordée au circuit de charge constitué de la bobine et d'un condensateur pour former un circuit RLC. Le circuit RLC entre en résonance et le courant vibre à la seule la fréquence propre du circuit pour former un courant sinusoïdal.

II.2.3. Les redresseurs

- Les redresseurs à diodes et à thyristors assurent une conversion alternatif-continu. Alimentés à partir du réseau monophasé ou triphasé, ils fournissent à leur sortie une tension continue de valeur fixe ou variable, soit pour alimenter directement un récepteur, soit pour alimenter un autre convertisseur.

- Lorsqu'on n'a pas à faire varier le rapport de transformation entre les tensions d'entrée et de sortie, on peut se contenter de redresseurs à diodes.

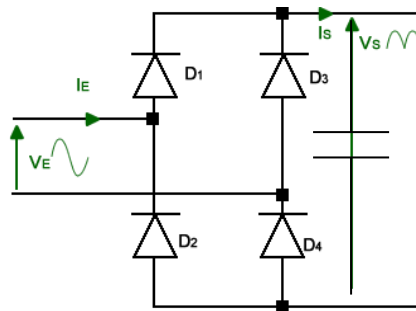


Figure II.11 : redresseur monophasé non commandé

II.3. La structure asservie de hacheur Boost en utilisant le régulateur PI :

Le comportement d'un système de commande sera analysé en étudiant sa dynamique et sa stabilité à partir de sa fonction de transfert. La commande idéale sera une commande telle que la grandeur commandé serait à chaque instant égale à la grandeur de référence quel que soit les perturbations.

Notre convertisseur en boucle ouverte peuvent présente une précision insuffisante et une grande sensibilité aux perturbations donc le régulateur PI (proportionnelle et intégrale) permet d'obtenir une réponse plus rapide et plus précise (l'action proportionnelle pour la rapidité et action intégrale pour la précision).

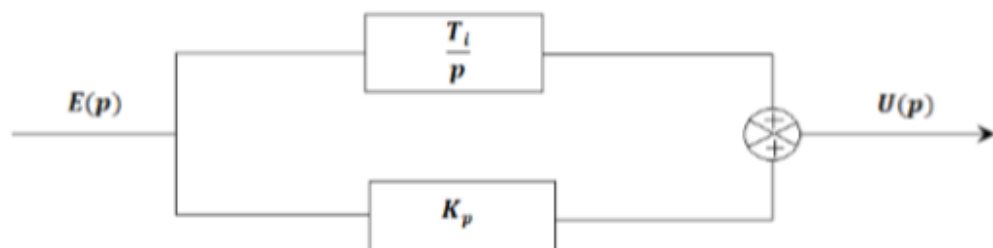


Figure II.12: Schéma bloc de correcteur PI

telle que sa fonction de transfert est la suivante :

$$C(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = \frac{1 + K_p p}{T_i p}$$

on cherche les paramètres (K_p, T_i) de régulateur PI.

on donne la fonction de transfert de hacheur boost d'après un développement on trouve une fonction du deuxième ordre comme suit :

$$H(p) = \frac{\frac{1}{1-\alpha}}{1 + \frac{L}{R(1-\alpha)^2}p + \frac{LC}{(1-\alpha)^2}p^2}$$

La structure de la commande en boucle fermée :

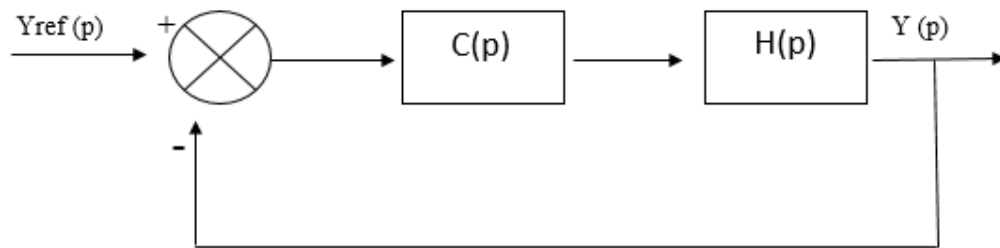


Figure II.13: schéma bloc de la boucle fermée de régulation du hacheur Boost

On a plusieurs méthodes pour trouver les constantes de régulation, soit par la méthode de placement des pôles soit par la méthode de compensation des pôles. On va choisir la deuxième.

La fonction de transfert du deuxième ordre est assimilable au modèle de second ordre standard suivant :

$$H(p) = \frac{K \omega_0^2}{p^2 + 2 \xi \omega_0 p + \omega_0^2}$$

D'où :

$$\text{la pulsation } \omega_0 = \frac{(1-\alpha)}{\sqrt{LC}} ; \quad \omega_0 = 233.33 \text{ rad/s}$$

$$\text{l'amortissement } 0.7 < \xi < 1 ; \quad 2\xi = \frac{\sqrt{LC}}{RC(1-\alpha)} ; \quad \xi = 0.714$$

L'équation de système régulée en boucle fermée est comme suit :

$$FTBF = \frac{C(p)H(p)}{1+C(p)H(p)}$$

On trouve que:

$$\frac{\frac{K}{Ki} \omega_0^2 (1 + K_p p)}{p^3 + 2\xi \omega_0 p^2 + \left(\omega_0^2 + \frac{K \omega_0^2}{Ki} K_p \right) p + \frac{K}{Ki} \omega_0^2}$$

Le dénominateur est d'ordre 3, pour simplifier on essaye de l'écrire sous la forme suivante :

$$p^3 + 2\xi \omega_0 p^2 + \left(\omega_0^2 + \frac{K \omega_0^2}{Ki} K_p \right) p + \frac{K}{Ki} \omega_0^2 = (p^2 + 2\xi_1 \omega_1 p + \omega_1^2)(p - p_0)$$

On suppose que p_0 est un pôle réel le plus négative pour que les deux autres pôles seront les pôles dominants.

Donc par comparaison on trouve :

$$p_0 + 2\xi_1 \omega_1 = 2\xi \omega_0$$

$$p_0 \omega_1^2 = \frac{K}{Ki} \omega_0^2$$

$$p_0 2\xi_1 \omega_1 + \omega_1^2 = \omega_0^2 + \frac{K \omega_0^2}{Ki} K_p$$

A l'aide de l'abaque du temps de réponse t_r réduit $t_r \omega_0$ en fonction de l'amortissement ξ on va fixer ξ_1 et ω_1 :

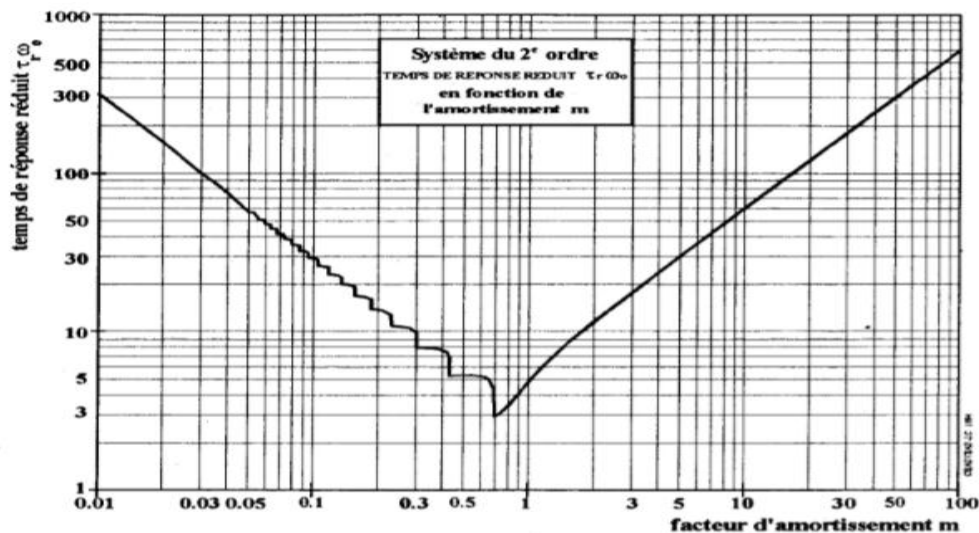


Figure II.14 : Abaque du temps de réponse réduit

D'après l'abaque, nous avons trouvé pour une valeur d'amortissement $\xi_1 = 0.7$

$$t_r \omega_1 = 3$$

Pour un temps de réponse choisir de $t_r = 6.2 \text{ ms}$; $\omega_1 = 483 \text{ rad/s}$

Après on va calculer les paramètres de notre régulateur :

$$p_0 = 2 \xi \omega_0 - 2 \xi_1 \omega_1 = 343.004$$

$$K_i = \frac{K}{p_0 \omega_1^2} \omega_0^2 = 0.109$$

$$Kp = (p_0 2 \xi_1 \omega_1 + \omega_1^2 - \omega_0^2) \frac{K_i}{K \omega_0^2} = 0.025$$

II.4. Le stockage

II.-4.1. Définition

Dans une installation photovoltaïque, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques.

Le stockage de l'énergie électrique passe plus souvent par une forme d'énergie intermédiaire quelconque, (gravitaire, de compression, électrochimique, électrostatique, électromagnétique, cinétique, thermique, etc.....) transformable en second temps en électricité.

Le choix du système de stockage se fait suivant des caractéristiques fondamentales qui sont :

- * La puissance massique (en W/kg)
- * L'énergie massique (en Wh/kg) .
- *Le nombre de cycles de fonctionnement.
- * Le coût.
- *Le rendement énergétique

La batterie au plomb (Pb) est développée depuis le XIXe siècle. Ces accumulateurs représentent 90 % de la production mondiale vue leur adaptation à tout type d'application et leur coût comparativement aux autres.

La technologie des batteries la plus appropriée pour un système photovoltaïque autonome est la construction plomb-acide.

Notre travail consiste à étudier le système photovoltaïque avec stockage et on a opté pour une batterie au plomb et cela pour les avantages suivants :

- faible coût.
- bon rendement.
- meilleur compromis en termes de cout / performance / entretien.
- sa durée de vie.
- caractéristiques électrochimiques favorable.
- une large disponibilité.
- entretien faible ou nul.
- bonne tenue aux températures extrêmes.

II -4.2. Caractéristiques des batteries[9]

➤ La capacité

La capacité est le nombre d'ampères-heures que peut débiter une batterie pour un courant et une tension de fin de décharge bien définis.

Elle peut être exprimée en Coulomb (unité de charge électrique) et on a $1\text{Ah} = 3600\text{C}$ lorsque la capacité est définie en terme de quantité d'énergie, on multiplie la capacité en Ah par la tension en V supposant constante pendant la décharge.

➤ Autodécharge

Le taux d'autodécharge d'un accumulateur représente la perte moyenne relative de capacité par mois et pour une température donnée. Les batteries modernes sont la plupart à faible autodécharge, c'est-à-dire qu'elles perdent moins de 3% de capacité par mois de 20°C. Cependant cette valeur triple à 30°C.

➤ Profondeur de charge

Niveaux de décharge permis à la batterie avant de la déconnection du régulateur (0,7 pour la batterie de plomb-acide)

➤ Autonomie

C'est la durée pendant laquelle le stockage assure le fonctionnement du récepteur sans recevoir aucune charge de la part du générateur photovoltaïque. Elle dépend de la capacité de l'accumulateur et de l'énergie requise par le récepteur.

➤ Durée de vie

La durée de vie d'une batterie est la période après laquelle la capacité de la batterie à pleine charge n'est plus que de 80% de sa valeur initial.

II.-4.3. différents types de batteries [9]

Tableau II.1 : Différents types de batteries [9]

type	Energie massique	Tension d'un élément	Durée de vie nombre de charge	Temps de charge	Auto de décharge par mois
Plomb	30-50 Wh/kg	2 V	200 -300	8h-16h	5%
NI-CD	48-80 Wh/kg	1,25 V	1500	1h	20%
NI-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	2h-4h	30%
LI-ION	110-160 Wh/kg	3,7 V	500-1000	2h-4h	20%
LI-PO	100-130 Wh/kg	3,7 V	300-500	2h-4h	20%

II.5. les réseaux électrique

Les réseaux électrique transportent l'énergie électrique sous forme sinusoïdales dont les caractéristiques son la fréquence, les niveaux de tension et courant.

II.5.1 grandeurs importantes

- Fréquence

La fréquence est normalisé et ne présente que deux valeurs possibles dans le monde 50Hz ou 60Hz. C'est en 'Hertz' (Hz), c'est le nombre de période par seconde.

- Tension et courant

L'utilisation du courant alternatif sinusoïdal impose la définition de quelques grandeurs La tension sinusoïdale et le courant associé, relatifs à un dipôle électrique s'écrivent

$$v(t) = V \times 2 \times \sin(2\pi.f.t)$$

$$i(t) = I \times 2 \times \sin(2\pi.f.t - \varphi)$$

- La puissance

Alors consommée par ce dipôle s'écrit:

$$P = V \times I \times \cos\varphi$$

$$P : \text{en Watts (W)}$$

Le terme ' $\cos\varphi$ ' est très important, il s'appelle le 'facteur de puissance'. Plus il est faible, plus il est nécessaire d'augmenter V et I pour faire consommer beaucoup de puissance au dipôle.

II .6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini et présenté tous les équipements qu'on va utiliser dans notre onduleur et leur caractéristiques (les convertisseurs statique 'les hacheurs, les onduleurs et les redresseurs') comme nous avons aussi parlé sur le stockage d'énergie par des batteries qui et très important pour compenser les passages nuageux, les nuits et les journées sans soleil afin de pouvoir bien dimensionner notre installation photovoltaïque.

Nous allons étudier l'onduleur solaire dans le chapitre suivant, le dimensionnement de l'installation PV et la gestion d'énergie.

CHAPITRE III

Les onduleurs solaires

III.1. Introduction

L'**onduleur solaire** joue un rôle crucial dans les installations de production d'énergie solaire. Il est en effet l'appareil qui sert de passerelle entre le système photovoltaïque et le réseau électrique, qu'il s'agisse d'un montage résidentiel ou d'une centrale électrique.

Dans ce chapitre nous allons présenter les onduleurs solaires et l'architecture de notre onduleur solaire destiné à une installation autonome nous présentons aussi les lois de la gestion d'énergie qu'on a choisi. Après le nous nous dimensionnons la taille du champ photovoltaïque, le nombre des batteries, en tenant compte des conditions d'ensoleillement de la demande énergétique et du coût des éléments.

III.2. L'ONDULEUR SOLAIRE

L'onduleur est le cœur de toute installation solaire car il a pour fonction de transformer le courant continu généré par les cellules photovoltaïques en courant alternatif.

Cette étape est indispensable pour pouvoir utiliser votre propre production d'énergie verte et injecter votre surplus sur le réseau public. En effet, le courant fourni par les panneaux photovoltaïques est de type continu. Ce courant n'est pas compatible avec le réseau public, et empêche donc la production domestique d'électricité. C'est pourquoi l'installation d'un onduleur photovoltaïque va permettre de transformer ce courant pour le rendre semblable à celui délivré sur le réseau. [10]



Figure III.1 : onduleur solaire [10]

Les onduleurs photovoltaïques ont des fonctions maitresses dans le cadre d'une utilisation de l'électricité dans le réseau public qui sont:

- transformation du courant continu produit par les modules photovoltaïques en courant alternatif aux normes du réseau.
- protection de l'installation et du réseau contre toutes les anomalies de fonctionnement potentiellement dangereuses (écart de tension, fuite de courant,...). Les onduleurs possèdent un système de coupure automatique de courant.
- contrôle du fonctionnement général de l'installation et signalisation des anomalies : transmission des données, indication de rendement, affichage de messages d'erreurs.

III.2.1. Les différents types d'onduleurs solaires [10]

Même si son rôle principal est de convertir le courant DC en AC, l'onduleur solaire est aussi à même d'assurer d'autres rôles. On retrouve ainsi différents types d'appareils sur le marché comme :

- **l'onduleur de chaînes**, qui peut accueillir le courant fourni par une chaîne de panneaux photovoltaïques ;
- **l'onduleur central**, plus gros et imposant, qui supporte toutes les charges fournies par plusieurs chaînes de panneaux ;
- **le micro-onduleur**, lui, est surtout utilisé sur les installations résidentielles. Comme les optimiseurs de puissance, celui-ci est un composant électronique de niveau module. Il faut ainsi prévoir une unité sur chaque panneau et dans ce cas de figure, il faut donc un panneau pour un micro-onduleur.
- Enfin, **l'onduleur à batterie** joue à la fois le rôle de transformateur et de chargeur de batteries.

*Le prix de l'onduleur solaire [10]

Si le prix d'un onduleur solaire se détermine surtout selon la marque et le type, sa puissance peut aussi influencer son tarif.

Tableau III.1 : le prix d'onduleur[10]

Puissance nominale (W)	Prix
3000 W	1400 € à 1750 €
2800 W	1390 € à 1500 €
2500 W	1260 € à 1990 €

III.2.2. Avantages et inconvénients d'un onduleur photovoltaïque[10]

III.2.2.1 Les avantages

Les **avantages de l'onduleur solaire** sont nombreux et varient en fonction de leurs types :

- l'onduleur de chaînes et l'onduleur central sont parfaits pour les locaux professionnels et industriels ;
- le micro-onduleur optimise l'apport de charge, même s'il provient d'un panneau solaire peu performant ; le micro-onduleur est une option adaptée pour les toits compliqués ;
- l'onduleur solaire est rentable sur le long terme, il est autonome et n'exige pas trop d'entretien ;
- l'appareil est écologique et sûr pour l'environnement.

III.2.2.2. Les inconvénients

L'onduleur photovoltaïque peut également présenter quelques faiblesses et imposer des contraintes :

- il est performant, plus il coûte cher. Schématiquement, on peut dire que l'onduleur central coûte généralement plus cher que l'onduleur de chaîne qui lui coûte plus cher que l'onduleur à batterie, qui lui, est encore plus coûteux que le micro-onduleur.
- tout comme les cellules photovoltaïques, il devient moins performant en cas d'absence du soleil ;
- son entretien doit être exclusivement pris en charge par un professionnel, et impose la souscription à un contrat de maintenance.

III.2.3 Comment choisir l'onduleur solaire[14]

Le choix d'un onduleur est donc une étape importante : il va dépendre de l'utilisation que vous ferez de votre installation. Afin que vous optimisiez le rendement électrique de vos panneaux solaires, voici ce qu'il faut prendre en compte avant de faire votre choix.

CHOIX DE LA PUISSANCE

Sur les fiches techniques des onduleurs, vous trouverez (au minimum) deux types de puissance indiqués : la puissance nominale et la puissance de crête. La valeur nominale correspond à la puissance maximale que l'onduleur peut délivrer en continu sur la longue durée. Afin de calculer la puissance nominale dont vous aurez besoin, faites l'addition de la puissance nominale de vos appareils électriques susceptibles de fonctionner en même temps. Le total ne doit pas dépasser la puissance nominale de l'onduleur.

Pour ce qui est de la puissance de crête, il s'agit de la puissance maximale que peut délivrer un onduleur pendant quelques secondes (5 en principe). C'est en quelque sorte sa capacité de réponse aux courants de démarrage élevés de certains appareils comme les réfrigérateurs, les congélateurs... Selon la même logique que précédemment, la puissance de crête de l'onduleur doit être supérieure à la somme des puissances de démarrage des appareils susceptibles de démarrer en même temps ET la puissance nominale des appareils fonctionnant en continu.

Une fois ces calculs effectués, il faut encore prévoir une marge de 20%. Certains vous conseilleront de sur-dimensionner votre onduleur, au cas où vous auriez par la suite à y relier d'autres consommateurs. Attention ce pendant à ne pas exagérer afin d'optimiser votre rendement.

CHOIX DES TENSIONS

La tension d'entrée en courant continu doit être supérieure à celle du générateur (panneaux solaires) et de la batterie. La tension de sortie doit correspondre à celle des appareils utilisés, soit en principe du 220/230V.

RENDEMENT

Le rendement d'un onduleur est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée du convertisseur, soit la puissance qu'il consomme pour son propre fonctionnement. Ce rendement varie en principe entre 95 et 98%.

III.3. La structure proposée de notre onduleur

Le système hybride choisi dans ce mémoire est composé : (GPV- réseau -système de stockage) les trois sources d'énergie sont connectées directement à notre onduleur. À l'intérieur de l'onduleur ces entrées sont connectées à un bus commun via différents convertisseurs. Ce bus est appelé DC bus (bus à courant continu).

Le système complet composé de quatre étages :

- GPV et leur convertisseur DC/DC de type BOOST.
- Batterie et leur convertisseur bidirectionnel (BUCK/BOOST).
- Le réseau avec un convertisseur AC/DC de type REDRESSEUR.
- Un convertisseur DC/AC de type ONDULEUR.

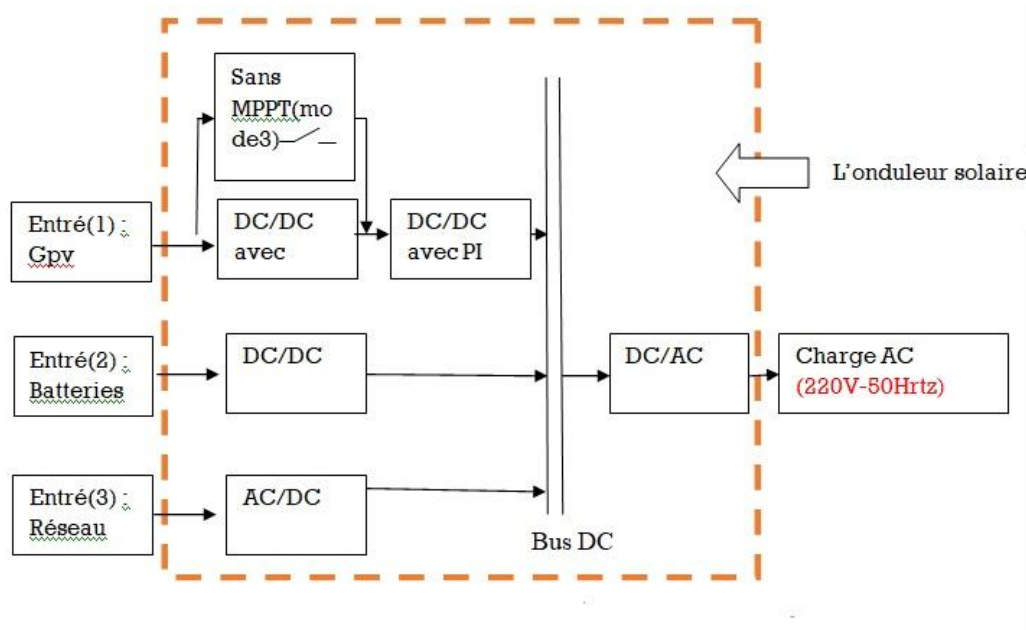


Figure III.2 : schéma synoptique de notre onduleur proposé

III.3.2. Gestion du flux d'énergies

Le but de la stratégie de gestion d'énergie est de optimisé la puissance entre les différents systèmes de manière à satisfaire la demande de Puissance globale niveau du bus continu, toute en gardant une tension de bus continu constante, eten respectant l'état de charge des batteries, pour cela on doit :

- Eviter les surcharges des batteries
- Eviter les décharges profondes des batteries

III.3.3 Algorithme de gestion

Suivant l'état de charge des batteries et la différence entre la puissance fournie par le GPV et la puissance demandée par la charge (P_{ch}), on définit le mode de fonctionnement suivant l'algorithme de gestion figure.III.3 :

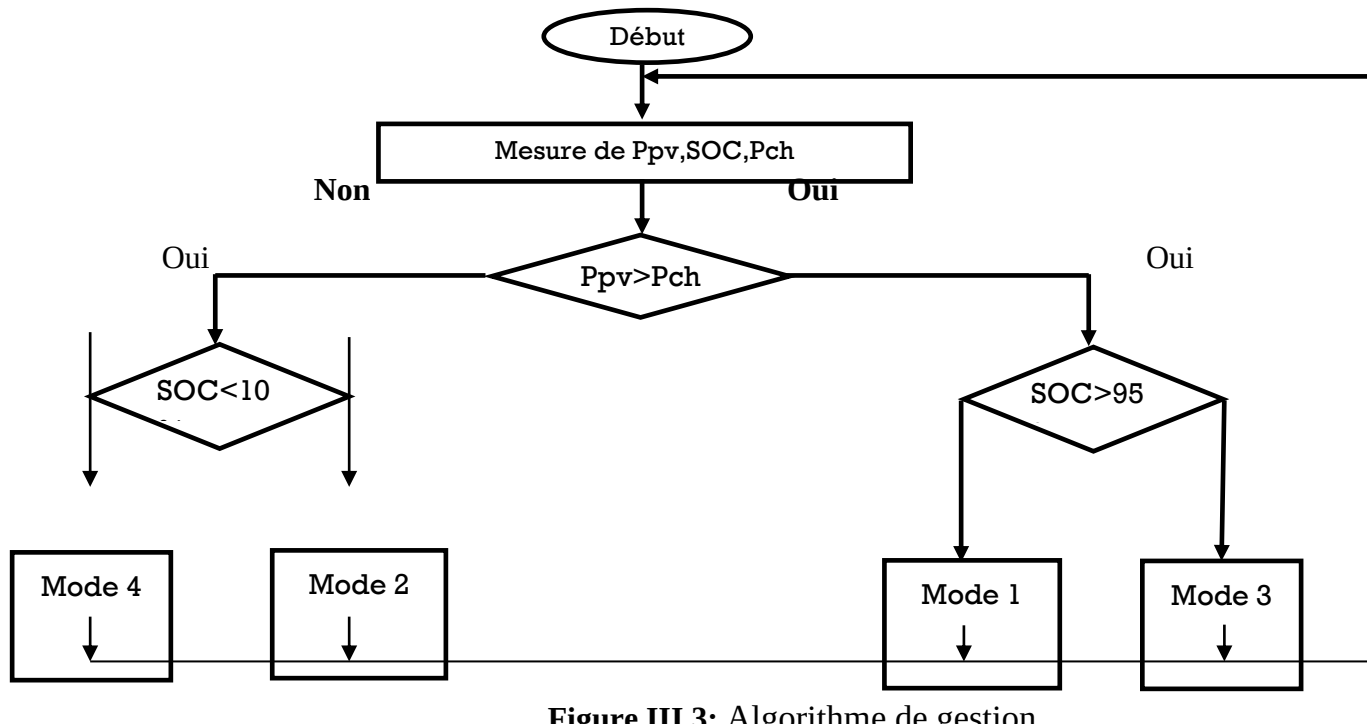


Figure III.3: Algorithme de gestion.

Ppv : La puissance produit par le GPV.

Pch : La puissance consommée par la charge.

SOC : L'état de charge de batteries.

- Le mode 1 :

C'est le mode normale ou le GPV fonctionne avec la présence de l'éclairement est exploiter le maximum de la puissance à l'aide de la commande MPPT, la production ici satisfaire les besoins, en parallèle les batteries peut recevoir le surplus à l'aide de convertisseurs bidirectionnelle en mode buck tout en respectant l'état de charge des batteries.

- Le mode 2 :

Dans ce mode le GPV fonctionne toujours en MPPT mais la puissance est insuffisante, donc les batteries délivrent le manque de puissance à l'aide de convertisseurs bidirectionnelle en mode boost, en évitant la décharge profonde.

- Le mode 3 :

Ce mode on peut le nommer par "le mode de limitation", la puissance délivrée par le GPV est supérieure à celle demandée et en même temps les batteries sont chargées pour cela en limite cette puissance. On utilise un switch qui contrôle le convertisseur associé au GPV pour choisir soit on utilise la commande MPPT soit le fonctionnement normale sans maximiser la puissance (mode limitation).

- Le mode 4 :

Ce dernier mode est utilisé pour les cas où la puissance maximale du GPV est complètement inférieure à celle demandée et le parc de batteries est déconnecté, puisque les batteries sont complètement déchargées, donc le réseau se connecte au bus continu. Dans ce cas, on considère que la puissance du GPV est nulle et on utilise seulement le réseau.

III.4. Dimensionnement d'installation photovoltaïque qu'on doit connecter à notre onduleur:

Tout système photovoltaïque nécessite un dimensionnement avant son installation.

Le dimensionnement consiste à déterminer la taille du champ photovoltaïque, du stockage électrochimique et de la puissance du convertisseur, en tenant compte des conditions d'ensoleillement, de la demande énergétique et du coût des éléments.

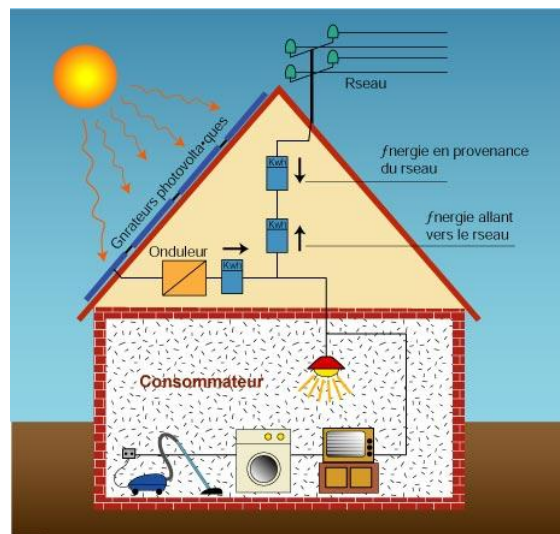


Figure III.4 : Schéma principal

III.4.1. Critères de choix d'une installation solaire :

1. ECONOMIQUE : coût et amortissement de l'installation par la vente de l'électricité
2. PRODUCTION DE L'ENERGIE :
 - * ressource solaire du lieu géographique (latitude, altitude, les données météorologiques)
 - * orientation des panneaux et inclinaison par rapport à l'horizontale
 - * rendement de l'ensemble (panneaux, onduleur, pertes dans les câbles)
 - * ombre sur les panneaux (au cours de la journée, de l'année)
3. ESTHETIQUE : intégration dans l'environnement avec impact visuel harmonieux
4. ECOLOGIQUE : réduction de l'effet de serre
5. PEDAGOGIQUE : promotion des installations solaires
6. SECURISATION : suivant le type d'installation solaire
 - * installation avec stockage de l'énergie
 - * installation avec injection dans le réseau

III.4.2. Dimensionnement de module PV

Caractéristiques des équipements choisis pour l'installation

- Les générateurs photovoltaïques:

Les panneaux solaires ou les générateurs PV seront composés d'un ou plusieurs modules photovoltaïques.

Model utilisé : 1Soltech 1STH-215-P On a choisit d'abord l'élément de base, le panneau PV, dans la bibliothèque des composants sur MATLAB.

Tableau III.2 : Caractéristique technique du panneau.

Type	1Soltech 1STH-215-P	Unité
Puissance max	213.15	Pm(W)
Tension à puissance max	29	V
Intensité à puissance max	7.35	A
Tension à circuit ouvert	36.3	V
Courant de court circuit	7.84	A
I _{SC} coefficient de température	0.102	%/°C
Condition standard	STC : 1000W/m ² · T=25°	

Pour dimensionner un module PV, il y a 3 étapes

- 1- On calcule l'énergie qui sera consommé par l'utilisateur par jour Ec
- 2- On calcule l'énergie produire Ep

K est le coefficient de correction qui tient compte:

- * les incertitudes météorologiques
- * vieillissement et poussières
- * pertes par les câbles de connexion
- * rendement des régulateurs

K varie entre 0.55 et 0.65, dans notre étude nous avons fixé sa valeur à 0.55

$$Ep = \frac{Ec}{k}$$

- 3- On calcule la puissance crête Pc (puissance maximale)

$$Pc = \frac{Ep}{Ir}$$

Nombre des panneaux :

Pour calculer le nombre des panneaux en utilise la relation suivante :

$$N_p = \frac{P_c}{P_m}$$

P_m : la puissance de chaque panneau

P_c : la puissance crête

• **Association des panneaux**

Série :

$$N_s = \frac{V_m}{V_p}$$

V_m : tension max de charge

V_p : tension de panneaux

Parallèle :

$$N_{bp} = \frac{N_p}{N_s}$$

$V_p = 24V$ (selon le tableau ci-dessous)

Tableau III.3: Tension générateur en fonction de la puissance

La puissance (KW)	0-0.5	0.5-2	2-10	>10
Tension recommandé(volt)	12	24	48	>48

Remarque: Dans la plus part des cas le nombre des modules ne sont pas des entiers, il faut donc les arrondir.

III.4.3. dimensionnement de batterie

Dans un système photovoltaïque, la ressource solaire ne pouvant être disponible à tout moment, il est indispensable de stocker de manière journalière ou saisonnière de l'énergie électrique produite par les panneaux solaires.

On utilise pour cela des batteries d'accumulateurs. Les batteries les plus courantes sont de type plomb-acide à plaque plane pour les installations de faible puissance.

Pour dimensionner les batteries, on suit les étapes suivantes :

- * on calcule la consommation E_c
- * on détermine le nombre de jours d'autonomie N
- * on détermine la profondeur de décharge D
- * on calcule la capacité de stockage C , en utilisant la relation suivante :

$$C = \frac{E_c N}{DV}$$

V : tension nominale de la batterie.

Le nombre d'accumulateur série est calculé par:

$$N_{as} = \frac{V_{bat}}{V_{acc}}$$

Le nombre de branche en parallèle est donné par :

$$N_{bp} = \frac{C_{bat}}{C_{acc}}$$

Application numérique:

Après les calculs et en passant par les étapes précédentes du dimensionnement on a trouvé:

$$E_p = 3636 \text{ Wh}$$

$$P_c = 1500 \text{ W}$$

Tableau III.4: nombre des panneaux utilisé

Type de module PV	1Soltech 1STH-215-P
Nombre totale des modules	08
Nombre en série	02
Nombre en parallèle	04

Capacité de stockage :

$$C=125Ah$$

La capacité totale installée est :

$$C_{bat} = C_{acc} * N(\text{total des batterie})$$

$$C_{bat} = 440Ah.$$

Tableau III.5: nombre des batteries utilisé

Type de batterie	48v/110Ah
Nombre totale des batteries	04
Nombre en série	02
Nombre en parallèle	02

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la structure de notre onduleur proposé, nous avons aussi calculé le nombre des panneaux et des batteries qu'on va connecter à notre onduleur. Notre stratégie de gestion d'énergie est basée sur l'état de fonctionnement du GPV (puissance disponible) et l'état de charge des batteries.

CHAPITRE IV

Simulation et résultats

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différents résultats de simulation par l'environnement 'SIMULINK' de MATLAB. Le 'SIMULINK' nous permet aussi de changer facilement les conditions atmosphériques (ensoleillement, température), le système complet à simuler contient : des convertisseurs DC/DC, la commande MPPT, la régulation de bus DC par un régulateur PI, et des batteries reliées à travers un convertisseur bidirectionnelle. Le bus DC est connecté à un onduleur pour générer une tension de 220 volts avec une fréquence de 50 Hertz.

La figure suivante présente un système complet qu'on a simulé:

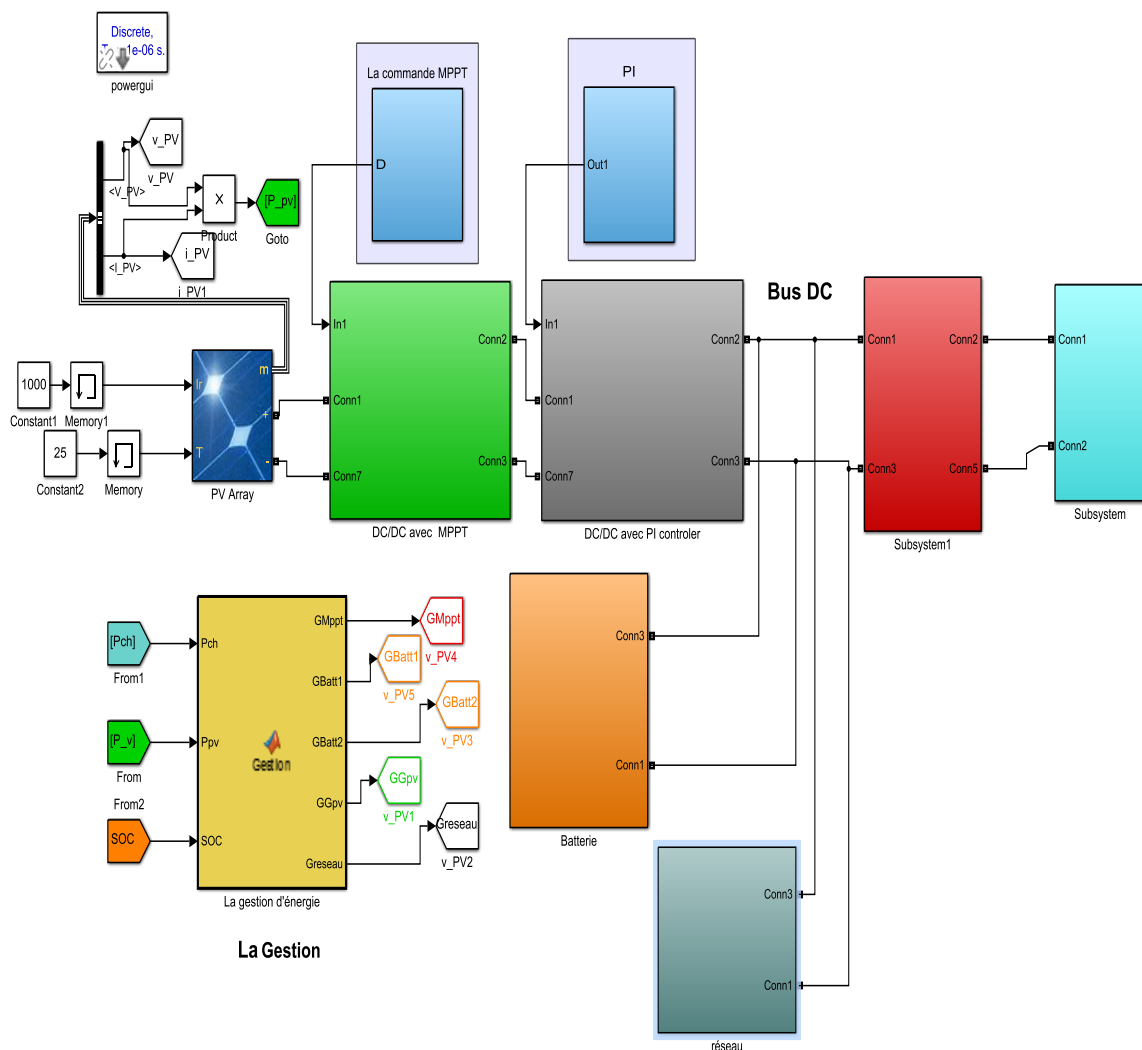


Figure IV.1 : schéma bloc du système complet à l'aide de MATLAB/SUMILINK

IV.2. BUS DC

IV.2.1. Simulation du système PV avec la commande MPPT:

La figure suivante (IV.2) présente la connexion entre le GPV et le convertisseur statique Hacheur de type Boost avec la commande MPPT:

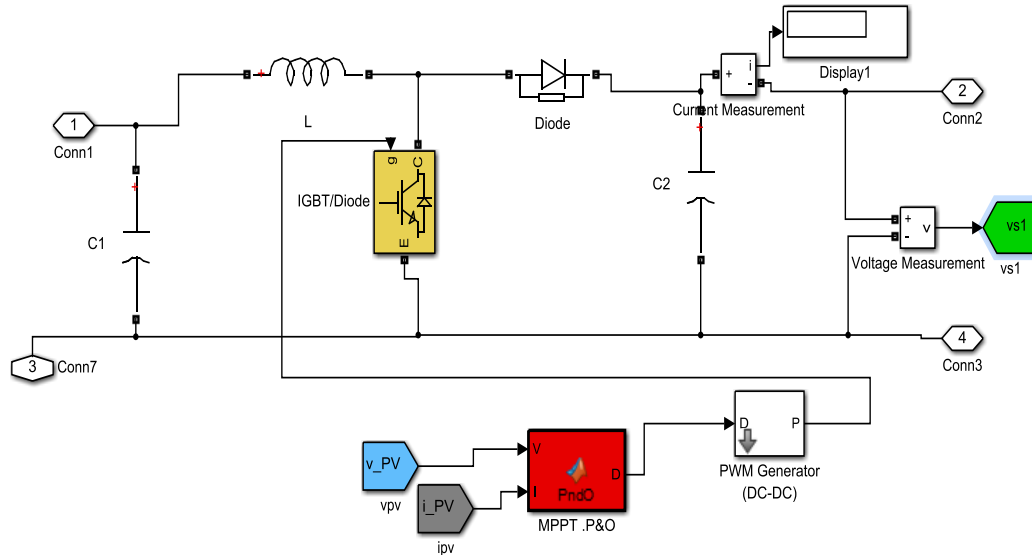


Figure IV .2: Le bloc de la commande MPPT simulé par MATLAB

IV.2 .1.1 Le fonctionnement sous les conditions standard :

La figure (IV.3) présente les différents signaux (tension, courant et puissance de générateur photovoltaïque à l'aide de la commande MPPT dans les conditions d'ensoleillement standards (1000 W/m² et une température de 25°C) :

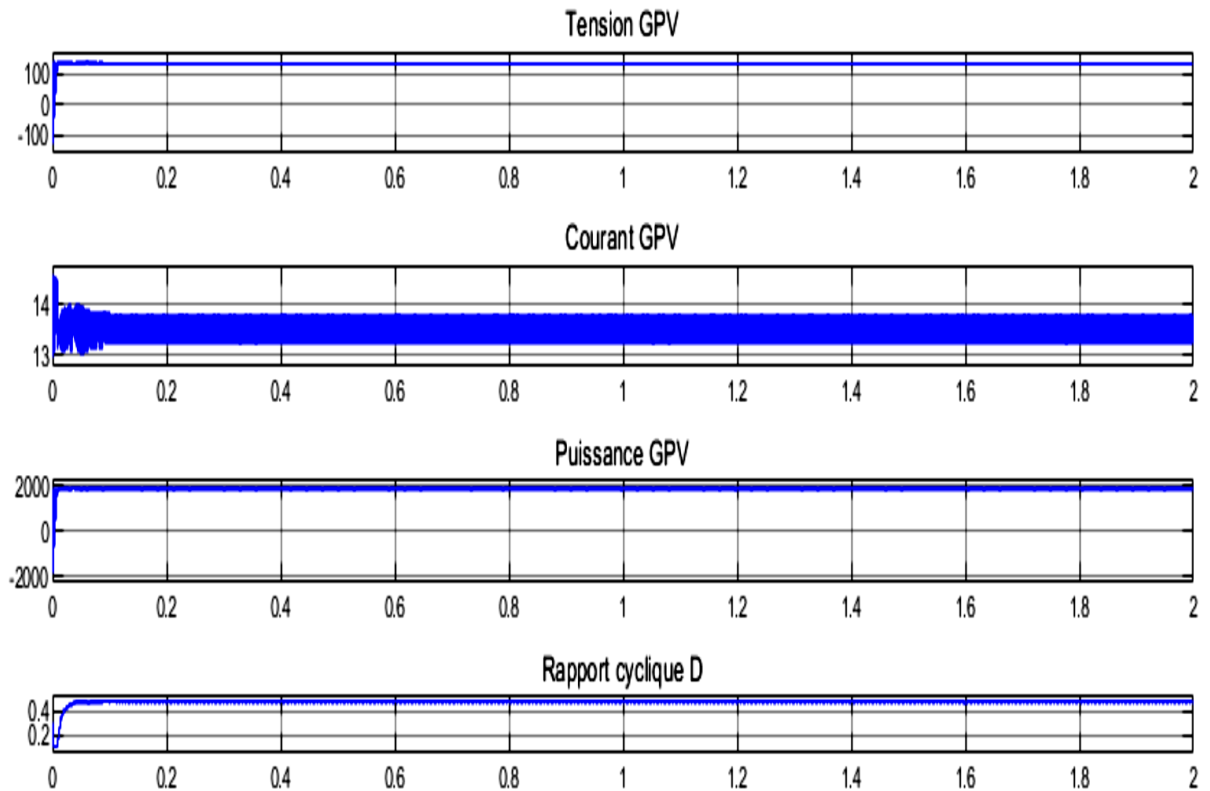


Figure IV.3 : forme d'onde avec MPPT de : tension, courant et puissance dans GPV dans les conditions standards

Notre générateur photovoltaïque utilisé à l'aide de Matlab/Simulink en regroupant 08 panneaux de type (1Soltech 1STH-215-P connecté au régulateur MPPT nous donne une puissance de 1920, une tension de 135.2 V et un courant de 13.71 A, les signaux de ces valeurs passent par un régime transitoire rapide (de 0 à 0.0015 s) puis les valeurs stabilisent.

De l'instant 0 à 0.0015 (s) on observe une variation de rapport cyclique d'une valeur d'ordre 0.3 (valeur initial dans l'algorithme) à une valeur qui se stabilise à 0.48, ici l'algorithme bascule par un pas de 10^{-5} ensuite la tension et la puissance augmentent après une perturbation claire sous l'effet de changement de rapport cyclique.

IV.2.1.2. La commande MPPT sous température et éclairement variables :

Pour tester l'efficacité de la commande MPPT on varie la température et l'éclairement et voir l'effet de chaque variation sur la puissance :

a- L'effet de la variation de l'éclairement :

Nous avons effectué la simulation de manière à varier l'éclairement (1000, 700, 500 W/m²) par à port à une température fixe (25°C) comme présente la figure (IV.4) :

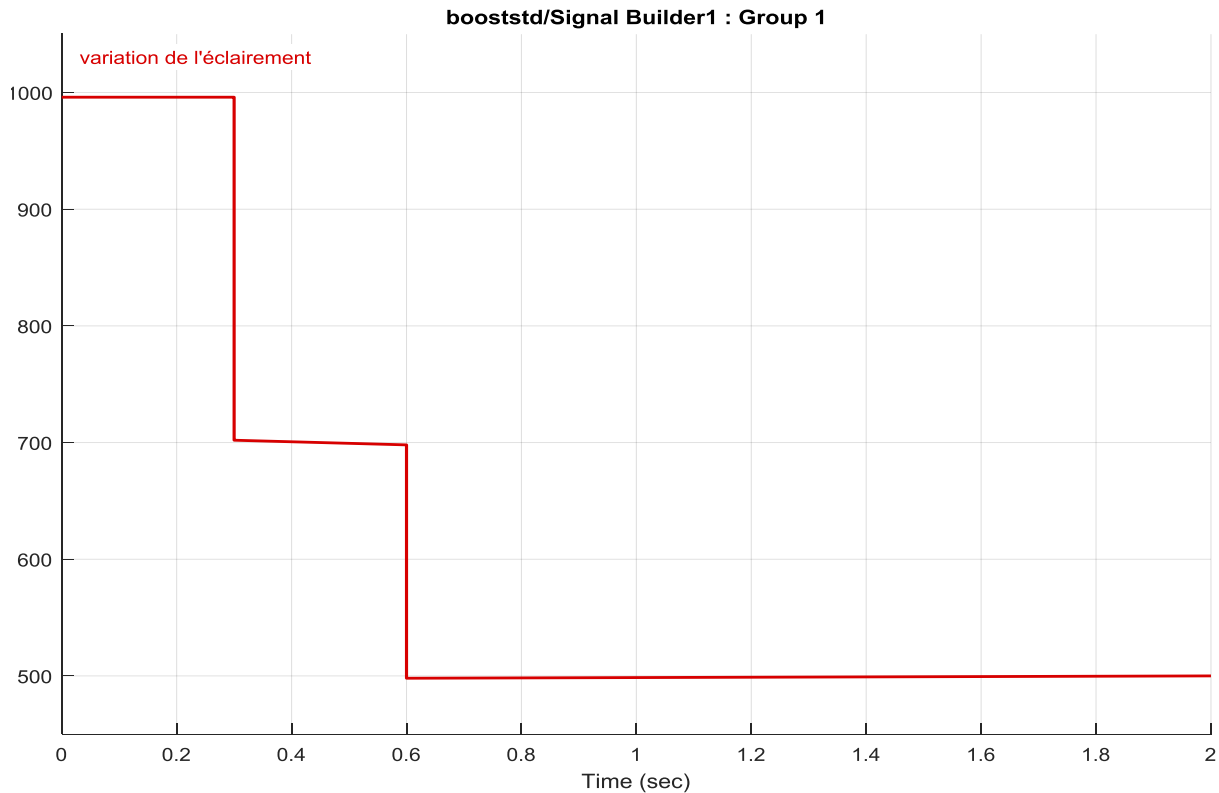


Figure IV.4 : Le signal de variation de l'éclairement

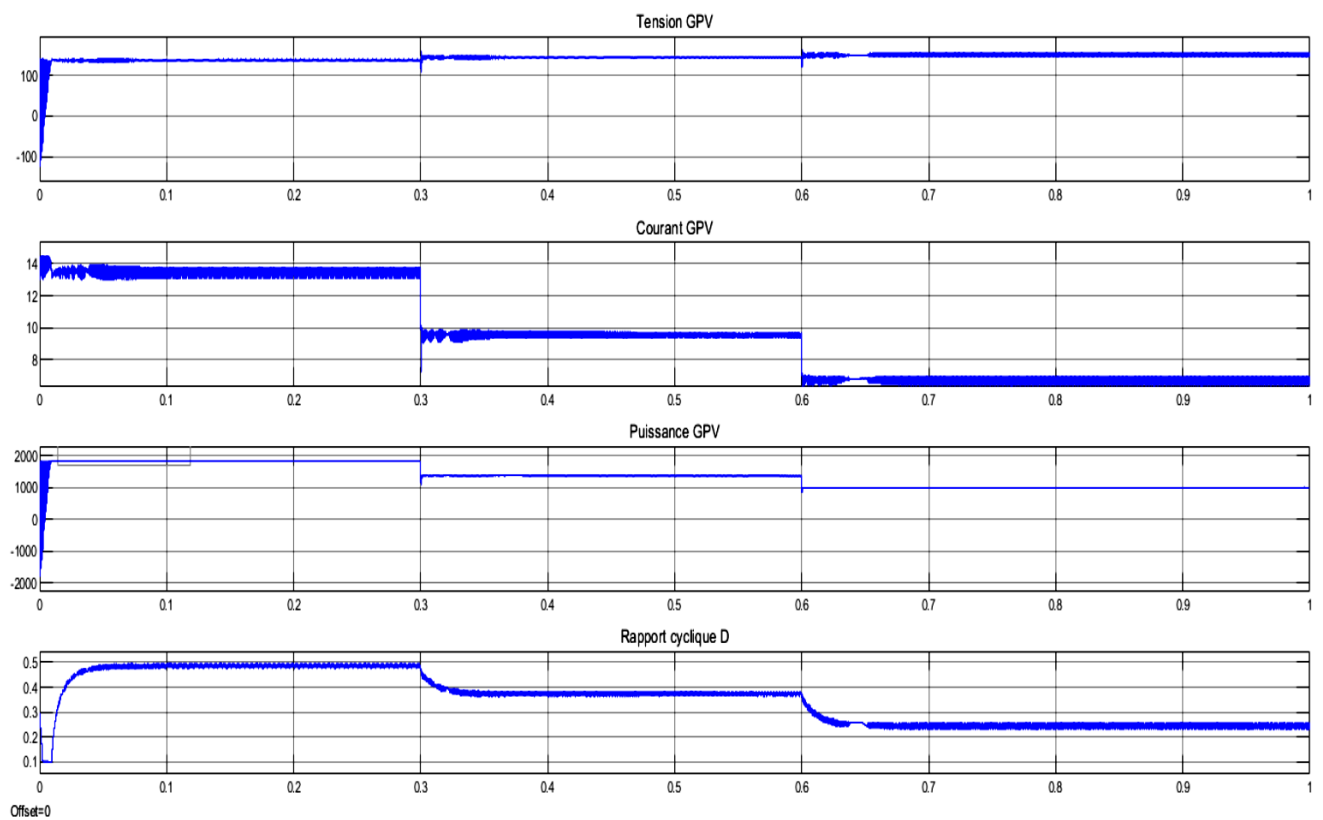


Figure IV.5 : forme d'onde avec MPPT, en cas du changement de l'ensoleillement en utilisant la méthode P&O combinée avec un hacheur boost à T=25C

D'après la figure IV.5 on tire les remarques suivantes : entre l'instant (0 et 0.3 s) avec une température (25°C) et éclairement de (1000W/m^2) le fonctionnement est le même qu'on a discuté au début, puis à l'instant 0.3 s on a abaissé l'éclairement jusqu'au 700W/m^2 le courant de GPV chuté rapidement puisque il est directement influencé par l'éclairement (comme on vu dans le chapitre I), en parallèle la tension se perturbe est démunie avec une perturbation remarquable due au perturbation de rapport cyclique donné par la commande MPPT qui cherche le point de fonctionnement maximale et la puissance de GPV repend à cette commande, la même façon on a changé l'éclairement (500W/m^2) à l'instant 0.6, le courant est démunie plus, puis stabilisent ($I_{pv}=13.64\text{V}$ et $V_{pv}=124.1\text{A}$). Par conséquence la puissance varie de la même façon.

b-La variation de température :

Nous avons fixés l'éclairement à 1000W/m^2 , la variation de la température est présentée par la figure suivante :

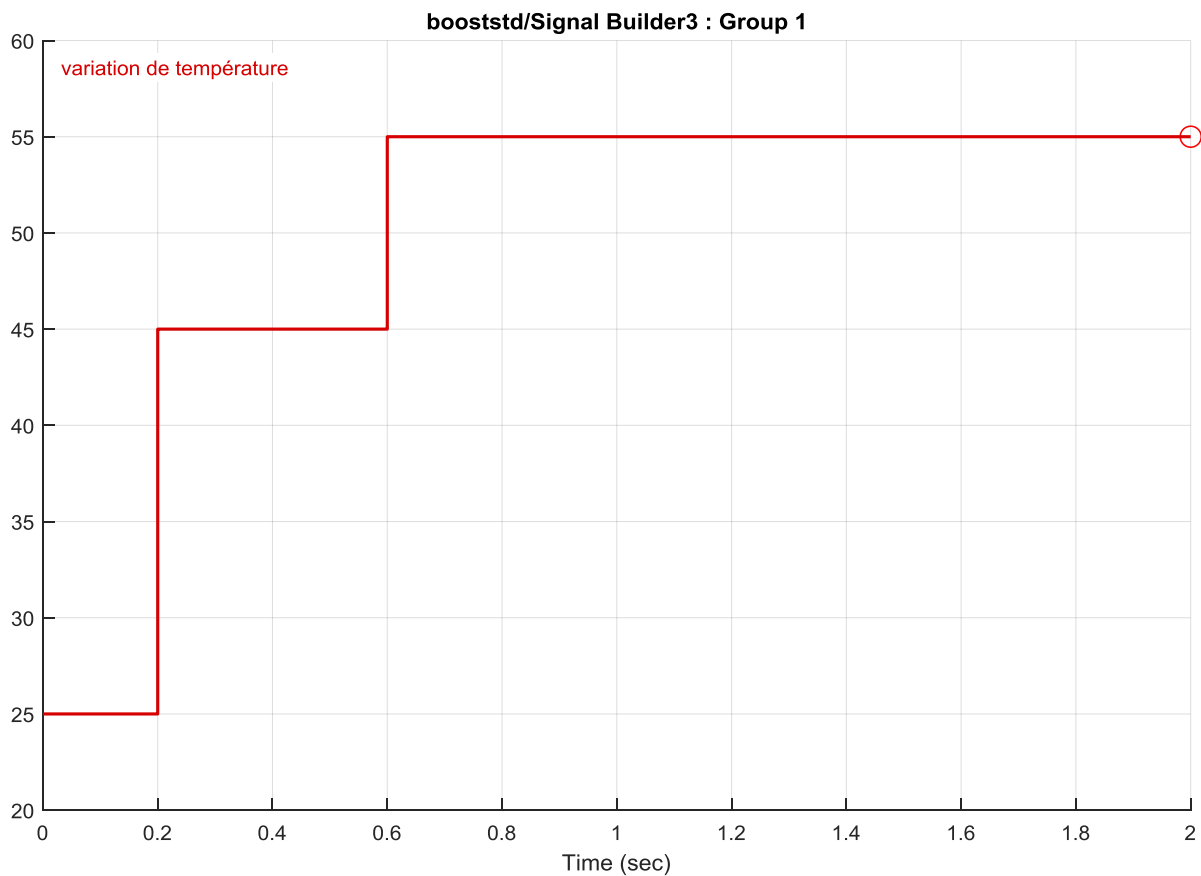


Figure IV.6: variation de la température

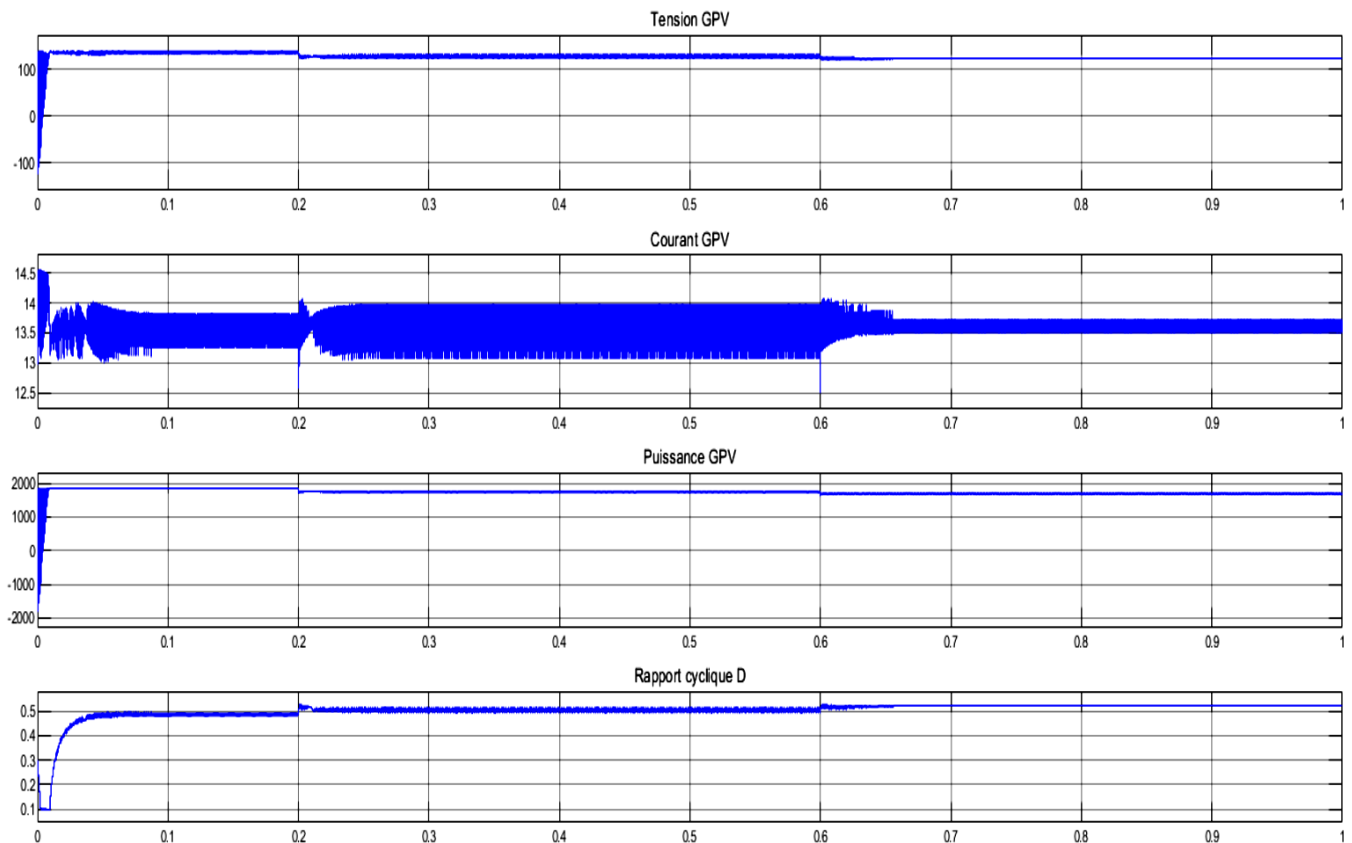


Figure IV.7 : Forme d'onde avec MPPT et sans MPPT, de la puissance en cas du changement de la température en utilisant la méthode P&O combinée avec un hacheur Buck Boost à $S=1000 \text{ W/m}^2$

Dans ce cas on a changé la température sur 3 période, de $[0s.0.2s.0.6s]$. La température est à 25°C le fonctionnement était le même comme dans le cas précédent aux conditions standard, puis on a effectué un changement brusque (réellement l'augmentation rapide de la température ne se produite jamais), à une deuxième période de $[0.2s.0.6s]$ la température fixée à 45°C , et la troisième période de $[0.6s.2s]$ on a varié la température à 55°C .

L'effet de la température est remarquable sur la tension, l'augmentation de la température, diminue la tension mais le courant ne change pas (à part une oscillation brusque au moment de variation) et le rapport cyclique change, puis la position du point de puissance maximal varie.

La puissance varie de la même façon.

* dans les deux cas on a remarqué que la puissance du générateur photovoltaïque contrôlé par le contrôleur MPPT suit la variation de l'insolation (point par point) et de la température. Le système suit donc les changements.

IV.2.2 Hacheur Boost avec PI :

A l'aide d'un régulateur PI qu'on a définie dans le chapitre II, on a effectué le réglage de bus DC (figure IV.8). Ce bus connecté aussi aux batteries et au réseau afin d'obtenir une tension désirée à l'entrée de l'onduleur monophasé.

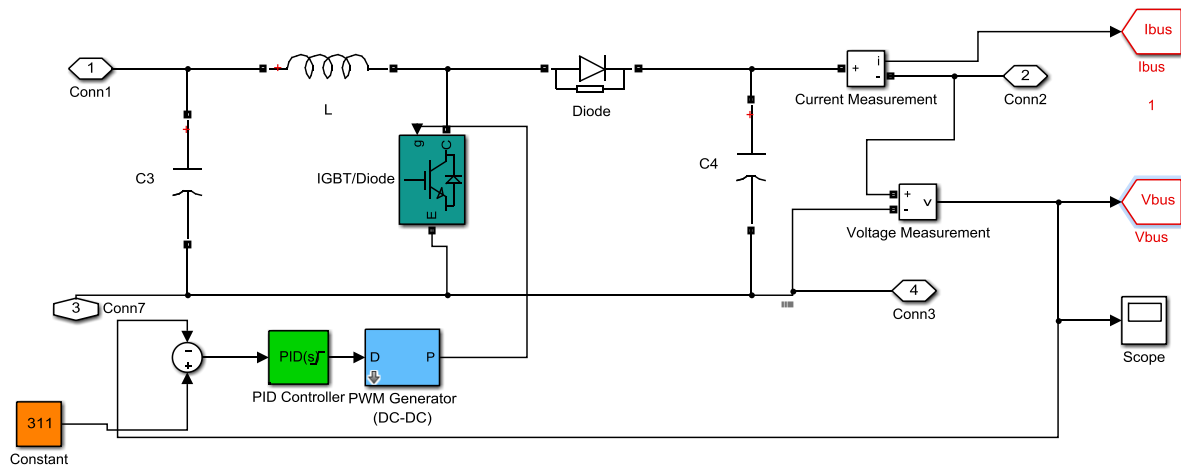


Figure IV.8 : Le bloc de régulateur PI implanté sur un Boost

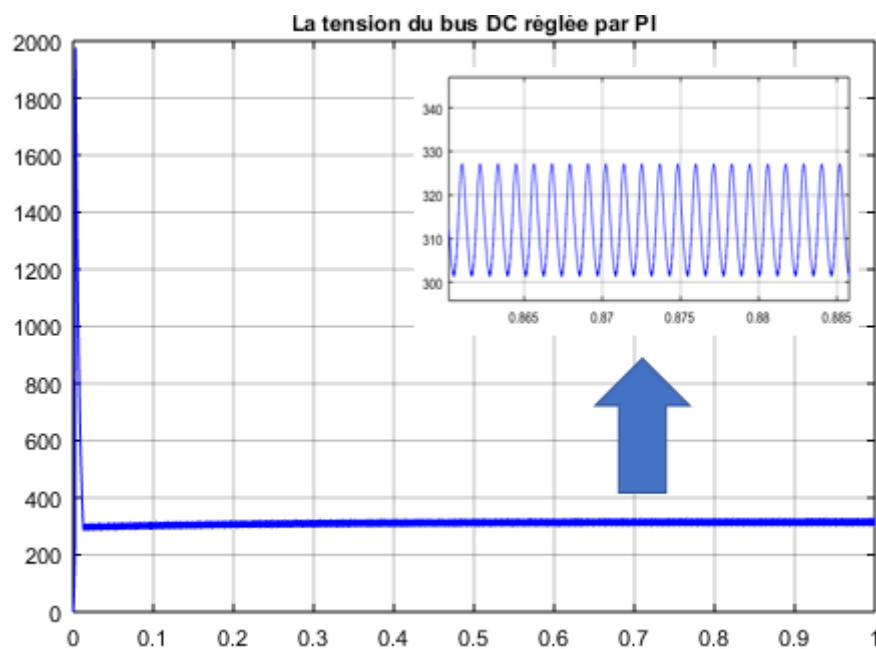


Figure IV.9: La tension du bus DC

La tension du bus DC passe par un régime transitoire 0.01s puis elle se stabilise à la tension désirée (environ 311 V) avec une ondulation de tension de 7%. Cette tension passe par l'onduleur pour générer les tensions AC de 220volts-50Hertz (Figure IV.9).

I.V.2.3 Bloc batterie et réseau:

a- Batterie avec convertisseur :

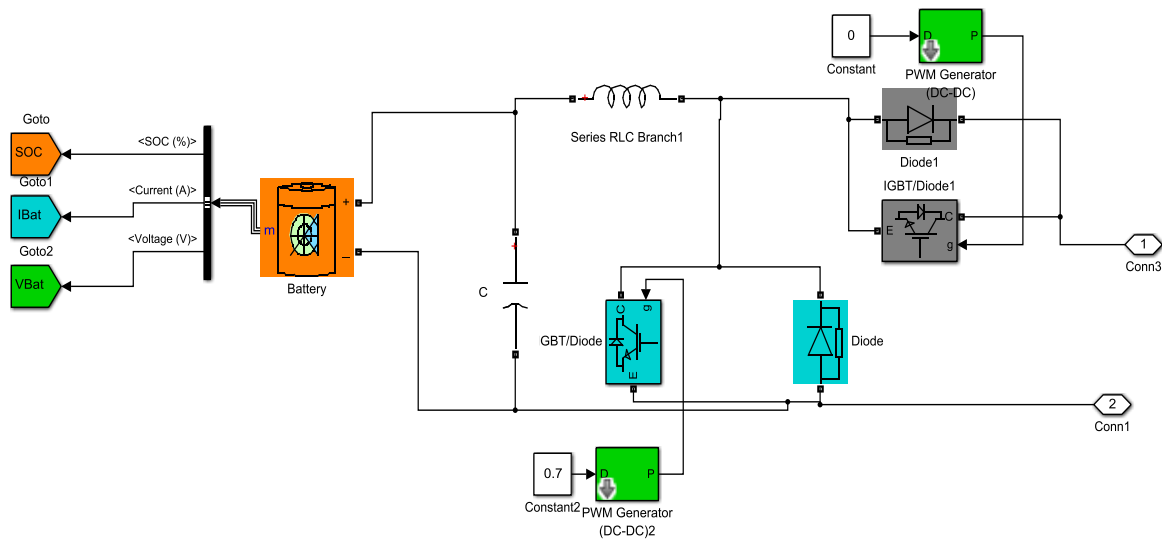


Figure IV.10: Batterie avec le convertisseur bidirectionnelle

Dans cette parties nous utilisons un convertisseur bidirectionnel (figure IV.10) comme intersection entre la batterie et le bus DC qui est choisie de 310 volts, pour cela nous allons utiliser des rapports cycliques fixes en cas de chargement et déchargement de batteries tel que :

- Un rapport cyclique de 0.15 dans le cas de chargement des batteries (hacheur Buck).
- Un rapport cyclique de 0.7 Dans le cas de déchargement de la batterie (hacheur Boost).

Puisque le réseau nous donne une tension alternative, donc nous utiliserons un convertisseur de type redresseur pour le convertir en continu (figure IV.11) :

b- Réseau avec convertisseur :

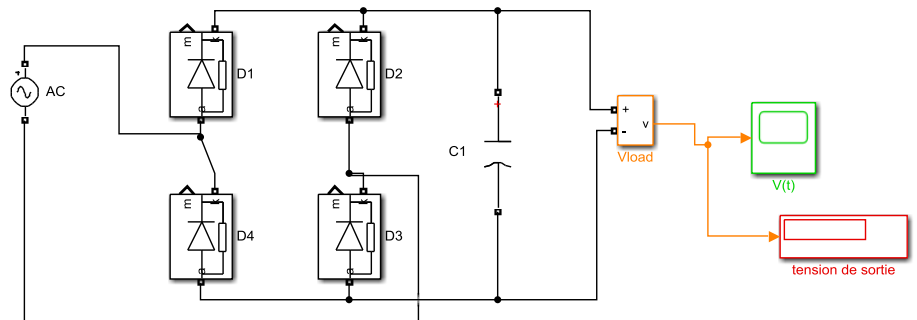


Figure IV.11 : bloc de réseau avec redresseur

On a ajouté le redresseur pour convertir la tension de réseau alternative à tension continue puis pour le relier au bus DC.

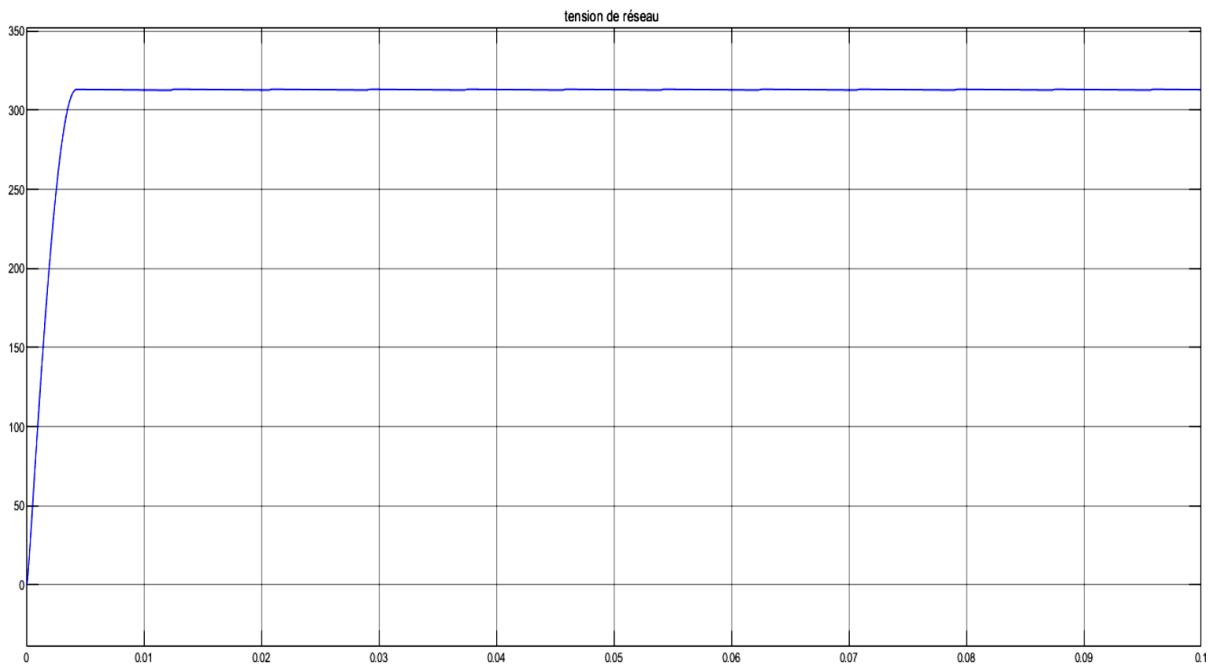


Figure IV.12 : la tension de sortie de réseau

A tension de sortie du redresseur est de l'ordre de 310 volts donc on peut le connecter directement au bus DC (figure IV.12).

I.V.3. La conversion DC/AC en utilisant l'onduleur monophasé :

Dans notre site isolé l'onduleur monophasé est suffisant, la figure IV.13 présente un onduleur monophasé en pont complet avec la commande MLI sinus-triangulaire, et un filtre (LC) passe-bas pour éliminer les ondulations et les harmoniques.

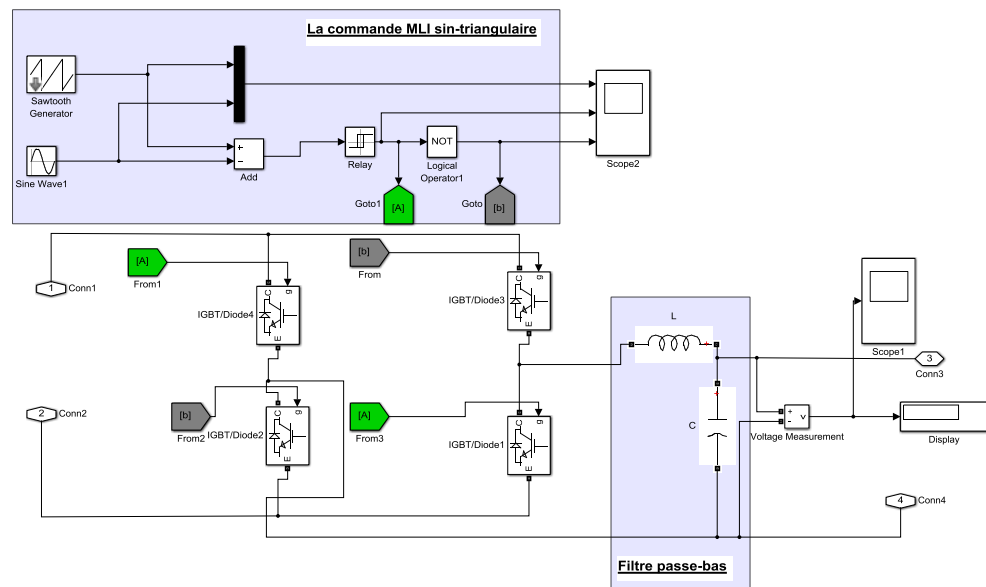


Figure IV.13 : bloc d'onduleur monophasé

* Le signal de la sortie :

- Avant le filtrage :

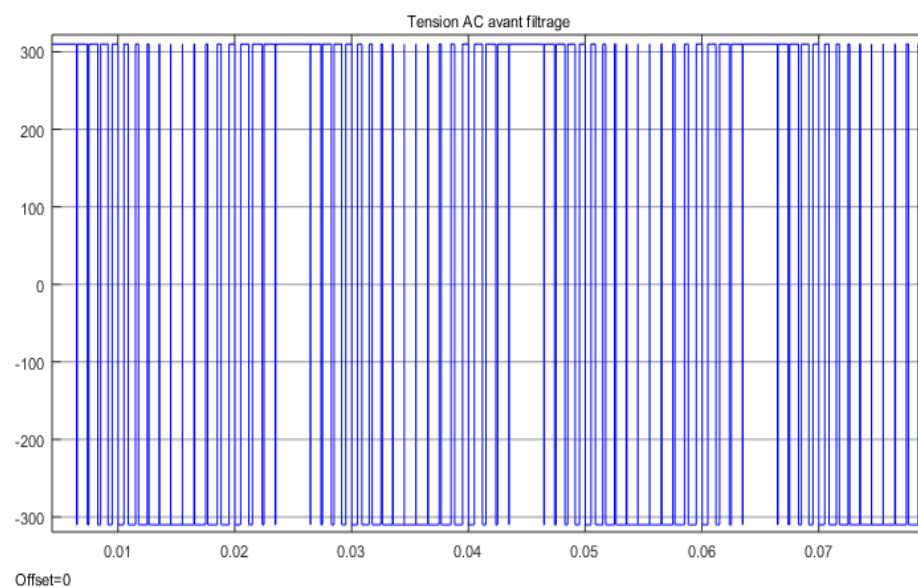


Figure IV.14 : la tension alternative avant le filtrage

- Après le filtrage

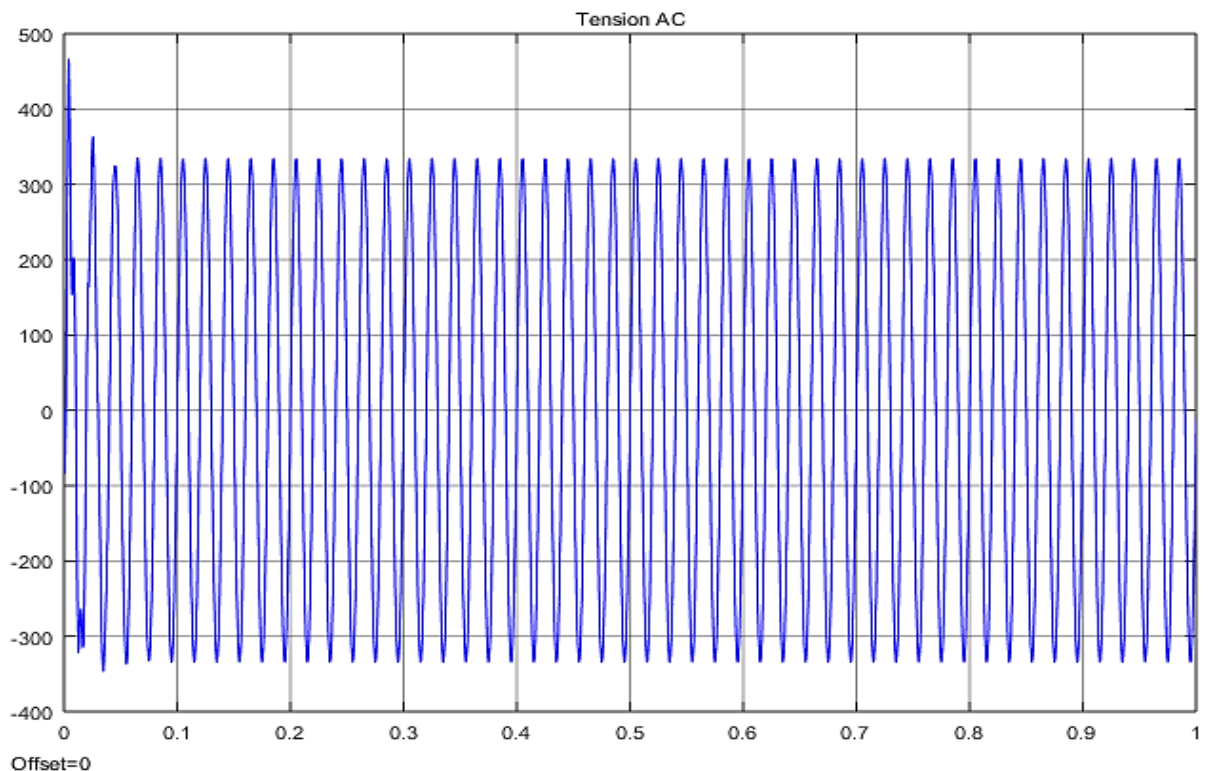


Figure IV.15 : Le signal de la tension alternative qui alimente la charge AC

Après un régime transitoire de $[0s, 0,051s]$ la tension alternatif à la sortie d'onduleur se stabilise (figure IV.15), l'onduleur de tension monophasé est le plus utilisé. La valeur moyenne de la tension est nulle.

IV.4. La gestion de l'énergie :

La gestion d'énergie dans ce cas se fait à l'aide des intercepteurs associés aux conditions de chaque mode.

IV.4.1. Mode 1 :

Le premier mode est définie par une puissance de GPV supérieure à la puissance de la charge donc il consiste à satisfaire le besoin de la charge et à charger les batteries si elles sont déchargées (dans ce cas SOC= 50%).

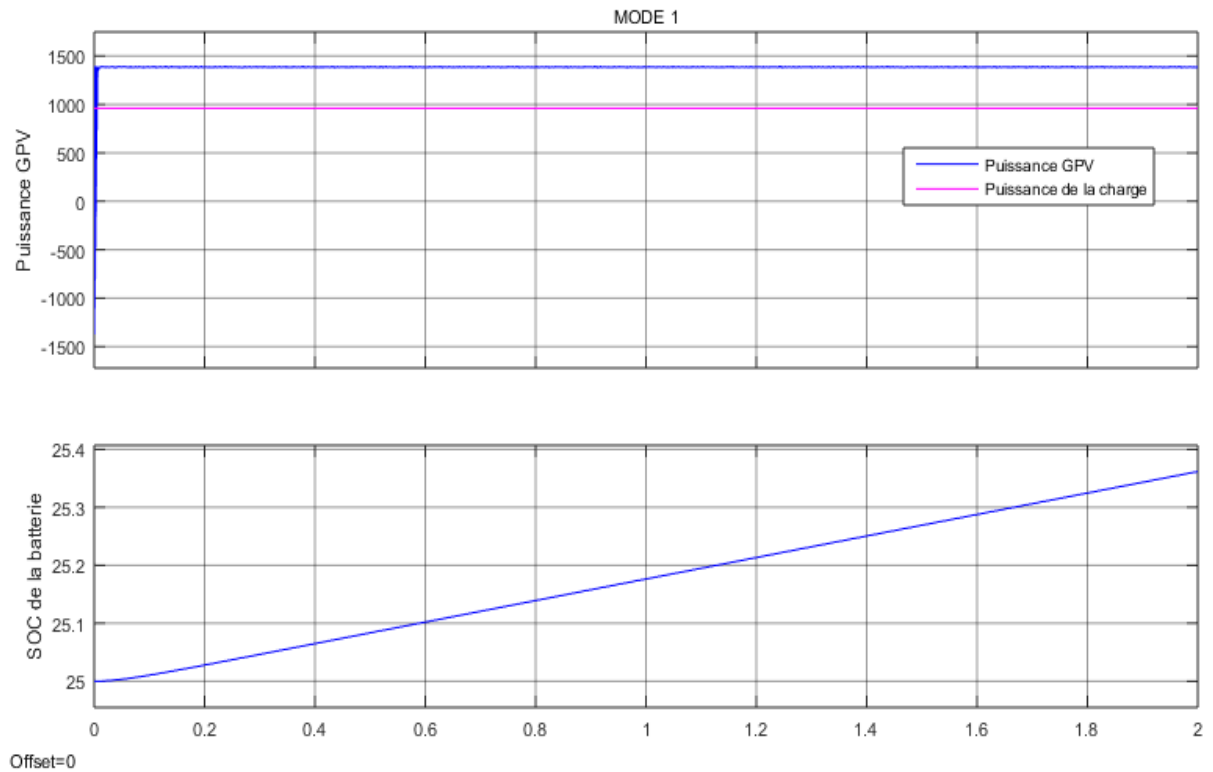


Figure IV.16 : le mode 1

Sous un éclairement de 1000 W/m^2 , et une température de 25°C la puissance du GPV en mode MPPT était suffisante pour couvrir les besoins de la charge (site isolé), au même temps le surplus charge la batterie déchargée (figure IV.16).

IV.4.2. Mode 2 :

Dans ce mode la puissance délivrée par le GPV (en mode MPPT) est insuffisante et SOC est supérieure à 25 %, donc les batteries nous aident à alimenter le besoin.

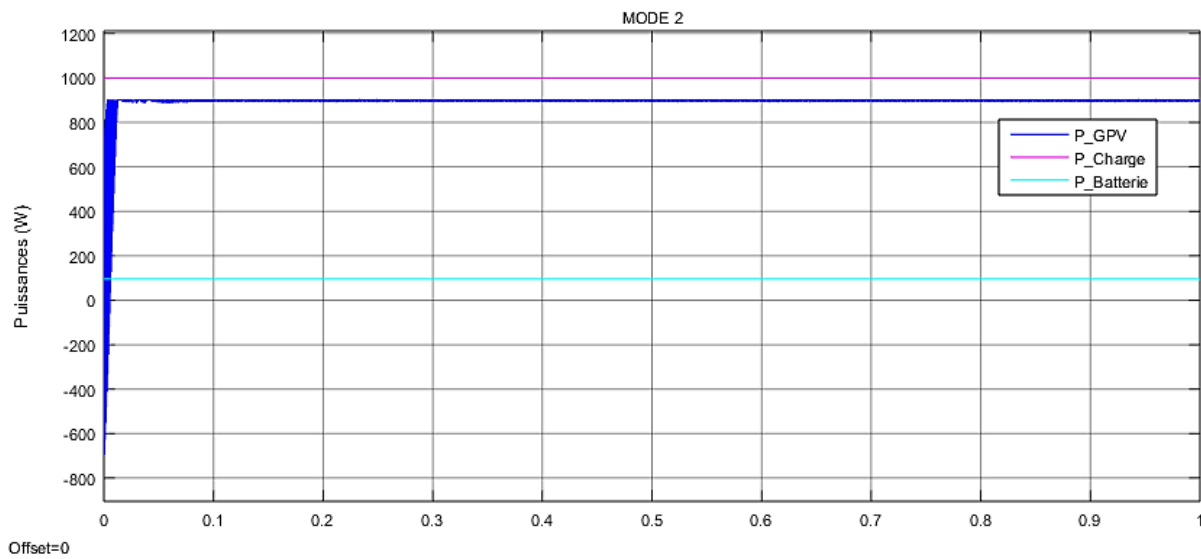


Figure IV.17 : mode2

Sous un faible éclairement de 600W/m^2 dans cet exemple, le GPV est incapable à couvrir le besoin, la charge des batteries est supérieure à 25% donc le parc batterie participe pour ajouter le manque de puissance de telle sorte que $P_{GPV} + P_{Batterie} \cong P_{ch}$, avec un peu de pertes (figure IV.17).

IV.4.3 Mode 3

Dans 'le mode 3' la puissance du GPV donne une puissance capable à satisfaire le besoin sans utilisation du commande MPPT, et en parallèle le parc batterie est bien chargé.

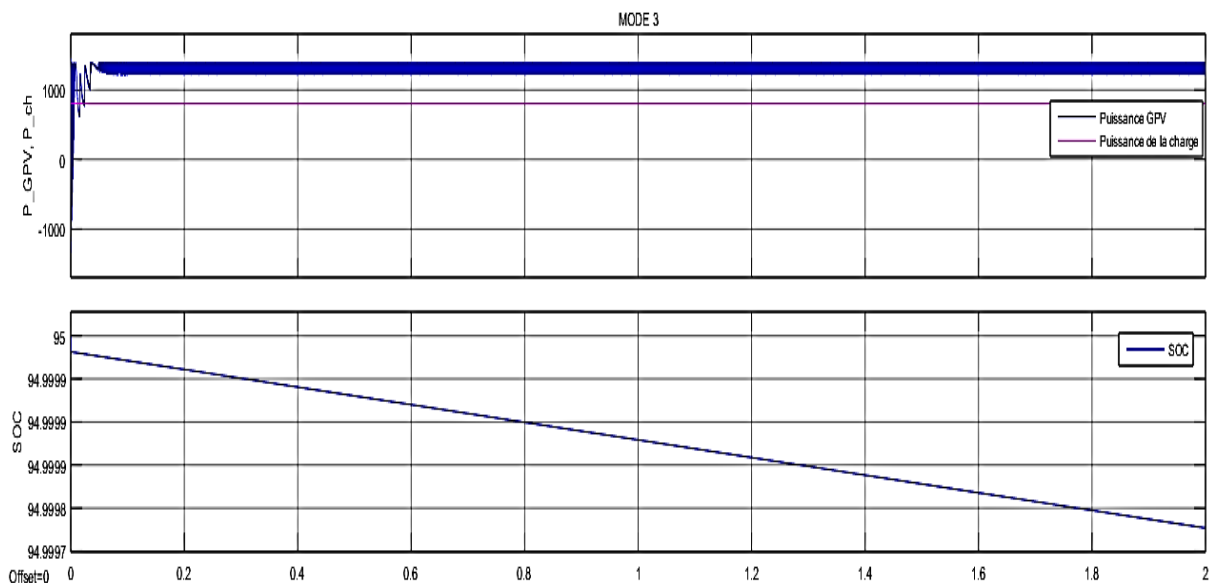


Figure IV.18 : mode3

Le parc batterie est chargé, on éliminant la commande MPPT la puissance reste supérieure à la demande $P_{GPV} \geq P_{ch}$, on note un petit décharge au niveau de batterie à cause de convertisseur associé (figure IV.18).

IV.4.4. Mode 4

Dans ce mode une autre source d'énergie participe : 'Le réseau', c'est dans les cas urgents au

$P_{GPV} + P_{Batterie} < P_{ch}$ donc on utilise la puissance délivrée par la S onelgaz.

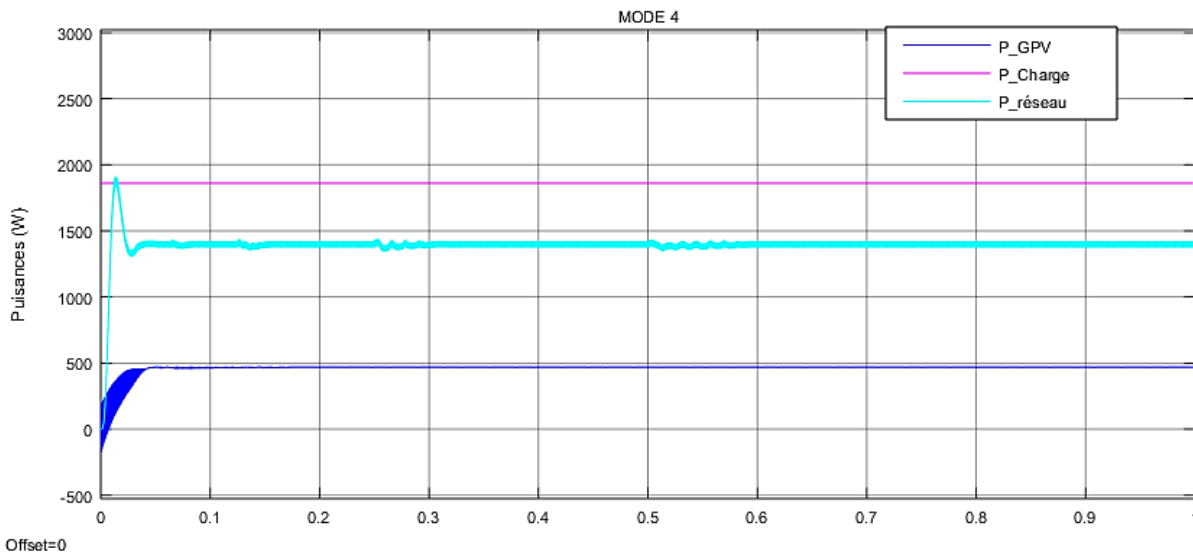


Figure IV.19 : mode4

Le parc batterie est déchargé $SOC < 25\%$ et le GPV est totalement insuffisant on prend l'exemple d'un éclairage égale à 300 W/m^2 , dans ce cas le réseau nous aide à alimenter la charge telle que $P_{GPV} + P_{réseau} \cong P_{charge}$ (figure IV.19).

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de notre travail avec un logiciel de MATLAB (les blocs de chaque partie), et aussi les différents modes utilisés dans la stratégie d'énergie basée en prenant en considération l'état de fonctionnement du GPV (puissance disponible) et l'état de charge des batteries.

Conclusion Général

Conclusion :

Dans ce travail nous avons présenté les points essentiels des systèmes de conversion photovoltaïque (PV). En effet, étant donnée la recrudescence d'intérêts sur les énergies renouvelables, il est nécessaire, si l'on souhaite que le PV connaisse l'essor espéré dans l'avenir, d'améliorer et de sécuriser ce type de conversion d'énergie. Nous parlons ici du prix élevé des générateurs PV et du faible rendement des dispositifs de conversion photons-électrons mis en œuvre (entre 12% et 17%), le développement de cette énergie à grande échelle nécessite avant tout une amélioration de ces systèmes de telle sorte qu'ils puissent fonctionner, à tout instant, à leur puissance maximale. Et générer la forme d'énergie consommables par les habitas (on parle ici de me forme AC

Notre travail a concerné à proposer une structure d'un onduleur solaire destiné à une application PV domestique. Notre structure contient plumiers étages a l'intérieur :

- Afin d'extraire le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de le transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de *la puissance maximale* disponible par le biais de la commande spécifique MPPT évoquée précédemment. Le principe de la commande MPPT consiste en la poursuite de point de la puissance maximale. La solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source-charge commandé directement par un signal PWM qui est délivré par cette commande MPPT. Le choix de la structure de conversion est effectué en fonction de BUS DC choisis.
- Un convertisseur Boost appliquer a un régulateur PI pour fixer la tension de bus DC
- Un convertisseur BUCK BOOST bidirectionnelle a fin de charger et décharger les batteries
- Un convertisseur DC/AC a fin de connecter le réseau en cas de besoin
- Un onduleur monophasé qui joue le rôle d'un convertisseur DC/AC

Dans la simulation du notre structure nous avons utilisé l'environnement 'SIMULINK' de MATLAB. Le système est utilisé pour la simulation des différentes parties (panneau solaire, MPPT « P&O », convertisseur DC-DC, DC/AC et AC/DC). 'SIMULINK' nous permet aussi de changer facilement les conditions atmosphériques (ensoleillement, température) afin d'évaluer la trajectoire de tracking du MPP de la commande vis-à-vis des changements de ces paramètres. Il nous a permet aussi de changer le profile de la charge pour simuler les différents modes proposé pour la gestion d'énergie.

La dernière partie est venu pour résoudre le problème des systèmes multi-sources, c'est-à-dire la gestion d'énergie électrique de ces systèmes, à fin d'assurer une alimentation électrique juste, stable et permanente pour la charge, et prolongé la durée de vie de tous les éléments du système hybride, des bons résultats sont annoncer au coure de ce chapitre montrent l'efficacité de l'algorithme et l'importance de chaque mode proposé dans ce mémoire, surtout le point d'optimisation de la puissance entre les différents systèmes de manière à satisfaire la demande de Puissance globale au niveau du bus continu, toute en gardant une tension de bus continu constante, et en respectant l'état de charge des batteries à fin de les protègent .

La simulation nous a permis d'obtenir des bons résultats de point de vue poursuite de la puissance maximale, quelque soit le changement de l'ensoleillement et de la température, régulation de bus contenu et efficacité de notre algorithme de gestion d'énergie.

Bibliographie

Références

Références:

- [1] : FELLOUAH, Siham MESBAHI mémoire de master Thème ETUDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTE AU RESEAU le 15/07/ 2015. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [2] : M. Bentouati Lakhdar mémoire de master Thème Etude d'un Convertisseur DC/DC pour Application PV année 2015 Université Amar Thelidji- Laghouat.
- [3] : Halouane Assia mémoire de master thème Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque, année 2016/2017 UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES.
- [4] : M. SLAMA Fateh Mémoire de Magister Thème Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique, UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF-
- [5] : Bourahla Ahmed Dabouz Mustapha mémoire de master thème Etude et applications d'une commande par la méthode Model Free Control Application sur la commande MPPT d'un GPV année 2017-2018 Université Amar Thelidji- Laghouat.
- [6] : M. BOULKOUANE.MOURAD M.DJABELLAH.NASSIM mémoire de master thème Influence des générateurs photovoltaïques Sur la stabilité des réseaux électriques année 2016, UniversitéA.MIRA,Bejaia
- [7] : Guy Séguier, Francis Labrique, Philippe Delarue, « Électronique de puissance » 10e édition Dunod, Paris, 2004, 2011, 2015.
- [8] : M. BOUTAIBA Moussa M. BENTAHAR Salah, mémoire de master thème Réalisation et commande d'un hacheur entrelacé à trois bras année 2019 Université Amar Thelidji- Laghouat
- [9] : ANBER HIBA mémoire de master thème DIMENSIONNEMENT OPTIMAL D'UNE INSTALLATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE Université M'Hamed Bougara- BOUMERDES .
- [10] : Copyright © 2008-2018 Calculeo.
- [11] : Solution Developer Product & application « Système Photovoltaïque SolairTek ».
- [12] A.Labouret et M.Villoz, "Energie solaire photovoltaïque", 2^{ème} édition,Dunod, Paris, 2003, 2005 ISBN· 2 10 049052 4.
- [13] S. Petibon, “Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques”, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [14] :<https://www.alma-solarshop.fr/blog/comment-choisir-son-onduleur-solaire> (vu le 22/08/2020).

Annexe

%L'algorithme MPPT

```
function D = PndO(V,I)
```

```
Dinit = 0.3;
```

```
Dmax = 0.99;
```

```
Dmin = 0.1;
```

```
deltaD = 1e-5;
```

```
persistent VoldPoldDold;
```

```
if isempty(Vold)
```

```
Vold=0;
```

```
Pold=0;
```

```
Dold=Dinit;
```

```
end
```

```
P= V*I;
```

```
dV= V - Vold;
```

```
dP= P - Pold;
```

```
if dP ~= 0
```

```
if dP < 0
```

```
if dV < 0
```

```
    D = Dold - deltaD;
```

```
else
```

```
    D = Dold + deltaD;
```

```
end
```

```
else
```

```
if dV < 0
```

```
    D = Dold + deltaD;
```

```
else
```

```
    D = Dold - deltaD;
```

```
end
```

```
end
```

```
else D=Dold;
```

```
end
```

```
if D >= Dmax || D <= Dmin
```

```
    D=Dold;
```

```
end
```

```
Dold=D;
```

```
Vold=V;
```

```
Pold=P;
```

%L'algorithme de la gestion d'énergie

```
function [GMppt,GBatt1,GBatt2,GGpv,Gréseau] = Gestion(Pch,Ppv,SOC)
```

```
GMppt = 0;
```

```
GBatt1 = 0;
```

```
GBatt2=0
```

```
GGpv = 0;
```

```
Gréseau= 0;
```

```
if Ppv < Pch
```

```
if SOC < 10
```

```
Gréseau=1
```

```
else
```

```
    GBatt1=1
```

```
end
```

```
else
```

```
if SOC < 95
```

```
GMppt=1
```

```
    GBatt2=1
```

```
else
```

```
GGpv=1
```

```
end
```

```
end
```